

Urban Mining:

Entwicklung einer Methodik zur Ermittlung zukünftiger Rohstoffströme aus Gebäudetechnik

Dissertation zur Erlangung des Dr.-Ing.

Eingereicht von Dipl.-Ing. Antonia Köhn



Erstgutachterin: Prof. Dr. rer. nat. Liselotte Schebek

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Linke

Gefördert durch ein Promotionsstipendium der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)
Förderkennzeichen 20015/376

Technische Universität Darmstadt
Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft

Darmstadt 2018

Inhaltsangabe

Die Rückgewinnung von Rohstoffen aus der Anthroposphäre (Urban Mining) ist eine wichtige Maßnahme zum Ressourcen- und Umweltschutz. Für die Prospektion, d.h. Verortung der vorhandenen und zukünftig frei werdenden Arten und Mengen an Rohstoffen, fehlen derzeit vielfach vor allem im Gebäudesektor qualifizierte Schätzungen und/oder geeignete Methoden, um diese zu erstellen.

Im Rahmen dieser Dissertation wird eine Methode für die Prospektion im Bereich Gebäudetechnik entwickelt, welcher besonders inhomogen ist, allerdings über strategisch und wirtschaftlich interessante Rohstoffe verfügt. Das „dynamische Materialflussmodell“ ermöglicht die Abschätzung derzeitiger und zukünftiger Lagergrößen, Inputs und Outputs von Gebäudetechnik sowie der darin gebundenen Rohstoffe. Dabei können sowohl gebäudetechnikspezifische Aspekte wie Zubau in Bestandsgebäude, Austausch oder Reparatur defekter Geräte, altersabhängige Rohstoffgehalte u.v.m. berücksichtigt werden als auch verschiedene Entwicklungsszenarien und unterschiedliche Detaillierungsgrade der zugrundeliegenden Daten. Als Anwendungsbeispiel erfolgt eine Abschätzung der heutigen und zukünftigen Lager, Inputs und Outputs von Fahrtreppen in Deutschland und den darin enthaltenen Rohstoffen Stahl, Aluminium sowie Kupfer.

Ergänzend erfolgt eine Analyse des Status quo der Rohstoffrückgewinnung aus Gebäudetechnik in Deutschland. Dabei werden verschiedene Herausforderungen, beispielsweise Zielkonflikte zwischen ökonomischen und ökologischen Aspekten etc. betrachtet sowie Handlungsempfehlungen entwickelt, um die zukünftige Rückgewinnung optimieren zu können.

Abstract

Recovering of raw materials from the anthroposphere (Urban Mining) is a key measure for the protection of natural resources and the environment. However, prospection is currently complicated by a lack of qualified assessments and proper methods to generate these. This applies particularly to the building sector.

This thesis develops a method for the prospection in the field of building technology, which appears very inhomogeneous but contains several materials of high economical and strategic interest. The “dynamic material flow model” allows the assessment of current and future stocks, inputs and outputs of building technology and its included materials. Type-specific issues like adding appliances to existing buildings, age-depending types and concentrations of material, replacement or repair of broken appliances and so on can be taken into account as well as different development scenarios and various levels of detail of the available data. The method is applied exemplary to assess current and future stocks, inputs and outputs of escalators in Germany and their included materials steel, aluminium and copper.

Additionally, the status quo of the recovering from building technologies in Germany is analysed. Several challenges like conflicts of objectives between economic and ecological aspects are described, whereupon guidance measures for the optimisation are developed.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
1.....Einführung	6
1.1 Problemstellung.....	6
1.2 Stand der Wissenschaft und Ansatzpunkt dieser Arbeit	6
1.3 Zielsetzung dieser Arbeit.....	8
2.....Verwendete Methoden und Aufbau der Arbeit	10
2.1 Methodik der Analyse des Status quo der Gebäudetechnik und ihrer Rückgewinnung.....	10
2.2 Methodik der Erstellung eines Materialflussmodells	10
3.....Eigenschaften der Gebäudetechnik und Status Quo ihrer Rückgewinnung	12
3.1 Grundlegende Eigenschaften von Gebäudetechnik	12
3.1.1 Arten der Gebäudetechnik.....	12
3.1.2 In Gebäudetechnik enthaltene Rohstoffarten und -gehalte.....	15
3.1.3 Extremfall elektronische Bauteile	17
3.2 Status quo der Rückgewinnung der Gebäudetechnik bzw. ihrer Rohstoffe in der Praxis ...	17
3.2.1 Rückgewinnung und Wiederverwendung von gebrauchter Gebäudetechnik	18
3.2.2 Rückgewinnung der Rohstoffe aus Gebäudetechnik.....	19
4.....Erstellung eines dynamischen Materialflussmodells	23
4.1 Struktur des dynamischen Materialflussmodells für Gebäudetechnik	23
4.1.1 Betrachtungsebene Gebäude	23
4.1.2 Betrachtungsebene Gebäudetechnik	25
4.1.3 Betrachtungsebene Rohstoffe	26
4.1.4 Übersicht über die Treiber der drei Betrachtungsebenen.....	26
4.2 Verwendung des Materialflussmodells für verschiedene Arten von Gebäudetechnik.....	27
4.2.1 Gruppierung der betrachteten Gebäude und Geräte.....	27
4.2.2 Auswahl geeigneter Einheiten	28
4.2.3 Ermittlung der Eingangsdaten	30
4.2.4 Berechnung der zukünftigen Materialflüsse und Lager.....	37
5.....Verwendung des dynamischen Materialflussmodells am Beispiel Fahrtreppen.....	39
5.1 Allgemeine Untersuchung von Fahrtreppen	40
5.1.1 Einsatzort.....	40
5.1.2 Genereller Aufbau	41
5.1.3 Reparatur und Nutzungsdauer	41
5.1.4 Untersuchte Rohstoffe und Rohstoffgehalte	42
5.1.5 Durchführung der Datenerhebung bei Fahrtreppen	44
5.2 Teilmodell Warenhäuser	45
5.2.1 Bisherige Entwicklung und Gebäudebestand	45
5.2.2 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen für die zukünftige Entwicklung.....	47
5.2.3 Treiber auf der Gebäudeebene	48
5.2.4 Gebäudetechnikgehalt und Gebäudetechniklager	57
5.2.5 Treiber auf der Gebäudetechnikebene	59
5.2.6 Rohstoffgehalte Stahl sowie Aluminium	63

5.2.7 Treiber auf der Rohstoffebene	67
5.2.8 Berechnung des Materialflussteilmodells	67
5.2.9 Ergebnisse des Materialflussteilmodells	71
5.3 Teilmodell Einkaufszentren.....	78
5.3.1 Gebäudebestand der Einkaufszentren	80
5.3.2 Rahmenbedingungen für die zukünftige Entwicklung der Einkaufszentren	84
5.3.3 Treiber auf der Gebäudeebene	89
5.3.4 Gebäudetechnikgehalt und Gebäudetechniklager	101
5.3.5 Treiber auf der Gebäudetechnikebene	102
5.3.6 Rohstoffgehalte Stahl sowie Aluminium	106
5.3.7 Treiber auf der Rohstoffebene	107
5.3.8 Berechnung der Materialflussteilmodelle.....	108
5.3.9 Ergebnisse der Materialflussteilmodelle.....	109
5.4 Teilmodell Bahnstationen	117
5.4.1 Gebäudetechnikebene: Eingangsdaten der einzelnen Betreiber.....	117
5.4.2 Gebäudetechnikebene: Aufsummierung der Einzeldaten	120
5.4.3 Rohstoffgehalte Stahl sowie Aluminium	122
5.4.4 Treiber auf Rohstoffebene	123
5.4.5 Berechnung und Ergebnisse des Materialflussteilmodells.....	124
5.5 Teilmodell Verkehrsflughäfen	127
5.5.1 Treiber auf der Gebäudeebene	127
5.5.2 Gebäudetechniklager und Treiber auf der Gebäudetechnikebene.....	129
5.5.3 Rohstoffgehalte Stahl sowie Aluminium	130
5.5.4 Treiber auf der Rohstoffebene	131
5.5.5 Berechnung und Ergebnisse des Materialflussteilmodells.....	131
5.6 Teilmodell Messen	134
5.6.1 Treiber auf der Gebäudeebene	134
5.6.2 Gebäudetechniklager und Treiber auf der Gebäudetechnikebene.....	135
5.6.3 Rohstoffgehalte Stahl sowie Aluminium	136
5.6.4 Treiber auf der Rohstoffebene	137
5.6.5 Berechnung und Ergebnisse des Materialflussteilmodells.....	138
5.7 Weitere Einzelhandelsgeschäfte am Beispiel C&A.....	140
5.7.1 Gebäudebestand und Treiber auf der Gebäudeebene	141
5.7.2 Gebäudetechnikgehalt und Gebäudetechniklager	142
5.7.3 Treiber auf der Gebäudetechnikebene	142
5.7.4 Rohstoffgehalte Stahl sowie Aluminium	143
5.7.5 Treiber auf der Rohstoffebene	144
5.7.6 Berechnung und Ergebnisse des Materialflussteilmodells.....	144
5.8 Zusammenführung und Vervollständigung der Hochrechnung für Deutschland	149
5.8.1 Gebäudetechniklager der Fahrtreppen.....	149
5.8.2 Entwicklung der Fahrtreppeninputs und -outputs	150
5.8.3 Entwicklung der Rohstoffinputs und -outputs aus Fahrtreppen.....	154
5.8.4 Analyse der Ergebnisse der Beispielrechnung.....	160

6.....Diskussion, Ausblick und Handlungsempfehlungen.....	164
6.1 Diskussion des dynamischen Materialflussmodells	164
6.2 Handlungsempfehlungen zur Optimierung der Verwertung bzw. Wiederverwendung	166
6.2.1 Praxis der Rohstoffrückgewinnung	166
6.2.2 Verortung und Potenzialabschätzung der Rohstoffe	167
6.2.3 Wiederverwendung von Gebäudetechnik.....	168
6.3 Möglichkeiten zur Weiterverwendung dieser Arbeit und Ausblick	168
A. ....Anhang.....	i
A1. Entwicklung des Onlinehandels als Konkurrenz für Einkaufszentren und Warenhäuser	i
A2. Eingangsdaten verschiedener Annahmen und Berechnungen der Teilmodelle	iv
A2.1 Übersicht der Fahrtreppen je Altersklasse in Warenhäusern.....	iv
A2.2 Anzahl, Ebenen und Mietflächen des Bestands an Einkaufszentren	v
A2.3 Aufsummierung der Fahrtreppen in Bahnstationen.....	vi
A2.4 Aufsummierung der Fahrtreppen in Verkehrsflughäfen.....	vii
A2.5 Aufsummierung der Fahrtreppen in Messen	viii
A3. Eingangswerte zur Berechnung der Rohstoffgehalte.....	ix
A4. Reparaturbedürftige Fahrtreppen je Altersklasse	x
A4.1 Teilmodell Warenhäuser	x
A4.2 Teilmodell Einkaufszentren	xi
A4.3 Teilmodell Bahnstationen.....	xii
A4.4 Teilmodell Verkehrsflughäfen.....	xiii
A4.5 Teilmodell Messen.....	xiv
A4.6 Teilmodell C&A Filialen.....	xv
A5. Berechnung der Materialflussteilmodelle	xvi
A5.1 Teilmodell Warenhäuser, Trendszenario.....	xvi
A5.2 Teilmodell Warenhäuser, Szenario <i>Innenstadtstärkung</i>	xix
A5.3 Teilmodell Warenhäuser, Szenario <i>Druck</i>	xxii
A5.4 Teilmodell Einkaufszentren, Szenario <i>Sättigung</i>	xxv
A5.5 Teilmodell Einkaufszentren, Szenario <i>Innenstadtstärkung</i>	xxvii
A5.6 Teilmodell Einkaufszentren, Szenario <i>Überversorgung</i>	xxviii
A5.7 Teilmodell Bahnstationen.....	xxxi
A5.8 Teilmodell Verkehrsflughäfen.....	xxxiii
A5.9 Teilmodell Messen.....	xxxiv
A5.10 Teilmodell C&A.....	xxxv
A6. Zusammenführung der Materialflussteilmodelle	xxxvii
A6.1 Gebäudetechnikebene	xxxvii
A6.2 Rohstoffebene	xxxix
Literaturverzeichnis.....	xlvi
Abkürzungsverzeichnis	lxii
Abbildungsverzeichnis	lxiii
Tabellenverzeichnis	lxvii

Zusammenfassung

Urban Mining, d.h. die Rückgewinnung von Rohstoffen aus anthropogenen Lagerstätten, ist eine wichtige Maßnahme für nachhaltige Rohstoffpolitik. Die gewinnbaren Sekundärrohstoffe sind jedoch noch nicht für alle Bereiche des anthropogenen Lagers quantifiziert, da die Datengewinnung aufgrund sehr heterogener Verteilungen der Rohstoffe hochkomplex ist. In vielen Bereichen stehen auch noch keine geeigneten Methoden zur Näherungsrechnung des derzeitigen Bestands und der zukünftig rückgewinnbaren Rohstoffmengen zur Verfügung. Sowohl die Planung als auch die Erstellung von Maßnahmen für effizientes Urban Mining werden durch diese Wissenslücken derzeit erschwert. Einer der davon betroffenen Bereiche ist die Gebäudetechnik, d.h. technische Geräte, welche fest innerhalb von Gebäuden verbaut sind. Sie sind von großem Interesse für die Rohstoffrückgewinnung, da sie zu großen Teilen Metalle enthalten, welche sich wirtschaftlich und meist ohne Qualitätsverlust recyceln lassen. Da Gebäudetechnik zunehmend mit elektrischen bzw. elektronischen Komponenten ausgestattet wird, ist sie auch aus Sicht der Rohstoffpolitik bedeutend, da diese Komponenten oft Seltene Erden und andere strategische Rohstoffe enthalten.

Das Ziel dieser Dissertation ist daher die Erstellung einer Berechnungsmethode für den Bestand der in Gebäudetechnik gebundenen sowie zukünftig daraus frei werdenden Rohstoffmengen und -arten. Durch die Weiterentwicklung eines im Rahmen des Projekts PRRIG an der Technischen Universität Darmstadt generierten dynamischen Materialflussmodells für Massebauteile wird ein für Gebäudetechnik spezifiziertes dynamisches Materialflussmodell erstellt. Dieses kann auf verschiedene Arten von Gebäudetechnik individuell zugeschnitten werden. Das Modell beinhaltet für Gebäude, Gebäudetechnik sowie Rohstoffe separate Betrachtungsebenen. Die Bestände bzw. Lager auf diesen Ebenen sind miteinander verknüpft und verändern sich über die Zeit durch verschiedene Treiber. In Szenarien können aus verschiedenen Entwicklungsmöglichkeiten der Rahmenbedingungen entstehende Rohstoffinputs und -outputs abgeschätzt werden. Aufgrund von unterschiedlichen Gerätearten und -gehalten je nach Funktion und Bauart der Gebäude ist es sinnvoll, die Berechnungen differenziert nach Gebäudetypen mit jeweils ähnlichen Merkmalen durchzuführen. Da auch Geräte gleicher Art untereinander in ihren Abmessungen und Rohstoffgehalten in der Regel variieren, müssen durchschnittliche Werte ermittelt und verwendet werden, beispielsweise anhand von Hochrechnungen aus Stichproben. Weitere Differenzierungen sind möglich, zum Beispiel nach dem Alter der Gebäudetechnik und davon abhängigen Rohstoffgehalten.

Beispielhaft für die Verwendung des Modells wird eine Berechnung für Fahrtreppen verschiedener Gebäudetypen Deutschlands im Betrachtungszeitraum 2017 bis 2040 durchgeführt. Berücksichtigt werden dabei die Gebäudetypen Warenhäuser, Einkaufszentren, Bahnstationen, Verkehrsflughäfen, Messen sowie Filialen der Textilbekleidungskette C&A. Es werden Teilmodelle mit unterschiedlichen Methoden zur Datengewinnung genutzt. Abschließend wird der über das Modell berechnete Anteil der Fahrtreppen mit einem Top-down-Wert aller Fahrtreppen in Deutschland abgeglichen, um daraus Rückschlüsse auf die nicht erfassbaren Fahrtreppen zu ziehen und das Bild zu vervollständigen. Die Berechnung des dynamischen Materialflussmodells für Fahrtreppen dient damit nicht nur der Erläuterung der Funktionsweise des Modells und der verschiedenen Möglichkeiten der Datenermittlung, sondern liefert auch ein weiteres Puzzleteil für die Abschätzung der Rohstoffströme und -lager im Gebäudebereich Deutschlands.

Je nach Szenario befinden sich im Basisjahr 2016 in Deutschland zwischen 30.000 und 35.000 Fahrtreppen, in welchen zwischen 162,2 kt und 188,6 kt Stahl bzw. Edelstahl, 21,4 kt bis 24,9 kt Aluminium sowie 1,6 kt bis 1,9 kt Kupfer gebunden sind. Bis 2040 werden sich die Fahrtreppen auf 27.150 bis 32.700 Stück reduziert haben. In ihnen werden zwischen 135,0 kt und 165,3 kt Stahl bzw. Edelstahl sowie 1,5 kt bis 1,8 kt Kupfer gebunden sein. Bedingt durch sich verändernde Rohstoffgehalte wird das Aluminiumlager trotz Reduzierung der Geräteanzahl auf 23,8 kt bis 28,6 kt ansteigen. Inputs und Outputs von Fahrtreppen bzw. ihren Rohstoffen entstehen nicht nur aufgrund der Änderung der Bilanz, sondern auch aufgrund des beständigen Austauschs veralteter Geräte sowie

durch Reparaturmaßnahmen. Es sind bis zum Jahr 2040 Fahrtreppeninputs zwischen 21.200 und 25.500 Stück zu erwarten sowie ein Rohstoffinput von zwischen 115,3 kt und 139,5 kt Stahl bzw. Edelstahl, 17,6 kt bis 21,5 kt Aluminium sowie knapp 1,2 kt bis 1,4 kt Kupfer. Als Output sind zwischen 23.350 und 28.400 Fahrtreppen bzw. 131,2 kt bis 161,0 kt Stahl bzw. Edelstahl, 15,7 kt bis 19,6 kt Aluminium sowie 1,3 kt bis 1,5 kt Kupfer zu erwarten.

Aufgrund von niedrigen Rohstoffpreisen und einem vergleichsweise hohen Aufwand für die Lokalisation der Rohstoffe in den Geräten und die Demontage ist zurzeit vor allem bei Geräten mit hoher Materialvielfalt nur die Rückgewinnung weniger Rohstoffe bei einem geringen Rückgewinnungsgrad ökonomisch gewinnbringend. Dies führt dazu, dass das ökologische Potenzial des Recyclings aktuell und vermutlich auch zumindest mittelfristig noch nicht ausgeschöpft wird. Besonders stark trifft dies auf elektronische Komponenten zu. Da von vielen Experten für die Zukunft jedoch eine hohe Rohstoffnachfrage verbunden mit schlechterer Verfügbarkeit von Primärrohstoffen prognostiziert wird, ist es sinnvoll, dennoch in die Weiterentwicklung der Technologien zur Rückgewinnung zu investieren, Rohstoffmengen und -arten zu verorten und die Daten auf aktuellem Stand zu halten.

Es stellte sich außerdem heraus, dass sich einige Arten von Altgeräten zur Wiederverwendung oder als Ersatzteilspender für defekte Geräte eignen. Dies stellt eine ressourcenschonendere Variante dar als Recycling und Produktion neuer Geräte. Bei elektronischen Komponenten entfällt zudem die aufwendige Lokalisation und Rückgewinnung von Kleinstmengen an Rohstoffen. Gesetzliche Vorgaben, technischer Fortschritt sowie Vorbehalte der Nutzer verhindern oder erschweren jedoch in vielen Fällen die Wiederverwendung. Insgesamt lässt sich sagen, dass nur wenig Nachfrage nach gebrauchten Altgeräten besteht.

1 Einführung

In den letzten Jahren entwickelte sich in vielen Industriestaaten in Folge steigender Rohstoffpreise ein Bewusstsein für die Verknappung natürlicher Rohstoffe. Beim sogenannten „Urban Mining“ werden anthropogene Lagerstätten wie Deponien, aber auch Gebäude und andere Infrastruktureinrichtungen als Rohstoffminen angesehen. Ein Rohstofflager von großer Relevanz stellt dabei der Gebäudebereich dar. Allein im Jahr 2015 wurde in Deutschland ein Bauvolumen von rund 12,5 Mio. m³ Wohngebäuden und rund 15,7 Mio. m³ weiteren Gebäuden fertiggestellt.¹

1.1 Problemstellung

Derzeit bestehen große Unsicherheiten darüber, wie groß die im Gebäudebereich gebundenen Mengen rückgewinnbarer Rohstoffe tatsächlich sind. Ebenfalls ist unbekannt, wie viel davon mittelfristig freigesetzt, d.h. für Recycling oder Wiederverwendung verfügbar wird. Dies erschwert nicht nur die politische Planung; auch Recyclingunternehmen benötigen vor der Investition in neue oder weitere Recyclinganlagen Prognosen, um den Bedarf an ihrer Dienstleistung abschätzen zu können.

Eine solche Potenzialabschätzung kann angeben, wie viele und welche Rohstoffe bzw. Geräte theoretisch gebunden sind bzw. verfügbar werden. Danach stellt sich die Frage, welcher Anteil dieses theoretischen Potenzials tatsächlich wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt wird und wie er möglicherweise erhöht werden kann. Maßgebend dafür sind Rahmenbedingungen wie gesetzliche Vorgaben, Stand der verfügbaren Technik sowie Handlungsweisen der im Bereich Gebäudetechnik beteiligten Akteure. Es ist nicht zu erwarten, dass eine vollständige Rückgewinnung aller aus dem Gebäudebestand frei werdenden Rohstoffe sowohl ökonomisch und technisch machbar als auch ökologisch sinnvoll ist.

1.2 Stand der Wissenschaft und Ansatzpunkt dieser Arbeit

Im Bereich Urban Mining beschäftigten sich in den vergangenen Jahren international zahlreiche Studien und Forschungsprojekte mit Methoden zur Berechnung des *material stock*, d.h. des Rohstofflagers der Infrastruktur. Dabei wurden sowohl wie in (Fishman et al. 2014) Top-down-Ansätze verwendet, welche von makroökonomischen Statistiken ausgehen, als auch Bottom-up-Ansätze, bei denen gebäudespezifische Daten zu Rohstoffgehalten auf einen Gesamtbestand hochgerechnet werden, beispielsweise in (Bergsdal et al. 2007; Schiller et al. 2015; Lederer et al. 2016; Technische Universität Darmstadt 2016). Bottom-up-Ansätze erfordern höheren Aufwand, bieten dafür aber den Vorteil, dass weitere Erkenntnisse über den Bestand gewonnen werden wie beispielsweise Gebäudetypen oder Bauteile, in welchen ein Rohstoff verstärkt aufgefunden werden kann.

Aufgrund der Inhomogenität von Bauwerken und der großen Anzahl an Gebäudetypen, Bauteilen und Rohstoffen ist die Abschätzung des Rohstofflagers ein komplexer und arbeitsaufwendiger Prozess. Daher betrachten die detaillierteren Bottom-up-Untersuchungen in der Regel lediglich eine Auswahl an Gebäudetypen oder Bauteilen bzw. einen stark eingegrenzten räumlichen Bereich. In den bisherigen Forschungsprojekten waren dies hauptsächlich Massebauteile wie Wände, Fundamente oder Decken. Gebäudetechnik wurde aufgrund ihrer im Vergleich zu Massebauteilen geringeren Rohstoffmasse und höheren Inhomogenität eher selten und nicht umfassend untersucht.² Gerade bei Gebäudetechnik ist jedoch zu erwarten, dass sie zu großen Anteilen Metalle enthält, welche für das Recycling besonders interessant sind. Zudem kann Gebäudetechnik teilweise als komplette, noch funktionsfähige Einheit ausgebaut werden und bietet daher das Potenzial zur Wiederverwendung. Ein weiterer interessanter Aspekt ist, dass sie elektronische Komponenten besitzen kann, welche strategisch wichtige Rohstoffe

¹ Berechnet aus (destatis 2016).

² Einzelne Bereiche daraus wurden im Projekt *Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft* (Kurztitel: KartAL) betrachtet (Schiller et al. 2015). Konkret wurden sanitäre Ausstattung, Heizkessel und Heizkörper von Wohngebäuden sowie Trink- und Abwasserleitungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden untersucht. Bottom-up-Ansätze wie zur Hochrechnung aus Normen wurden dabei teilweise mit Top-down-Informationen zur Anzahl von Geräten verknüpft.

wie Technologiemetalle oder Seltene Erden enthalten. Für die Rückgewinnung von mobilen, kleineren Elektronik-Altgeräten wie Mobiltelefonen oder Laptops besteht bereits eine Vielzahl von Forschungsprojekten, die fest verbaute Gebäudetechnik wird jedoch meist nicht betrachtet.

Input, Output und Lager der Rohstoffe sind bei der Ermittlung eines derzeitigen Rohstofflagers jedoch nur eine Momentaufnahme. Aufgrund der dynamischen Entwicklung von Bevölkerung und Wirtschaft ist hingegen davon auszugehen, dass sie veränderlich sind. Bei Gebäudetechnik ist die Dynamik als besonders groß zu erwarten, da technische Neuerungen, Vorschriften und Normen sowie sich verändernde Nutzerbedürfnisse stetig die Anzahl, Art und Konstruktion einzubauender und ggf. bereits verbauter Gebäudetechnik beeinflussen. Daher ist für ein effizientes Urban Mining zusätzlich zur Abschätzung des derzeitigen Rohstofflagers auch eine Methodik zur Ermittlung zukünftiger In- und Outputs sowie Lager notwendig. Die bislang genannten Untersuchungen beschränken sich jedoch zum Großteil auf den Status quo bzw. geben lediglich Prognosen ab, welche auf einer Fortschreibung der derzeitigen In- und Outputs beruhen.

Für die dynamische Modellierung entwickelte (Schwaiger 2002) Methoden, die zunächst nur den Gebäudebestand und nicht die enthaltenen Rohstoffe betrachten. Rohstoffströme im Gebäudebereich modelliert erstmalig (Müller 2006) für Wohngebäude in den Niederlanden. In einem sogenannten *dynamischen Materialflussmodell* wird die zukünftig benötigte Wohnfläche ausgehend von einer Prognose der Bevölkerungsentwicklung und des Lebensstils ermittelt. Über die Lebensdauer der Gebäude sowie Änderungen im Bedarf werden Abbrüche und Neubauten abgeschätzt. Mittels einer *Materialintensität*, welche beispielsweise den durchschnittlichen Betongehalt je m² Wohnfläche angibt, kann von Neubau, Abbruch und Bestand der Wohnfläche auf Inputs, Outputs und Lager der Rohstoffe geschlossen werden.

Im Rahmen des Projekts *Techno-Ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäude-Bestand* (kurz: PRRIG) wurde von der Autorin der vorliegenden Dissertation das dynamische Materialflussmodell für die Verwendung bei Nichtwohngebäuden adaptiert wie in Abbildung 1-1 dargestellt (Technische Universität Darmstadt 2016). Dazu wurde es vom Bevölkerungswachstum entkoppelt. Der Gebäudebedarf wird stattdessen durch Prognosen bzw. Szenarien zur zukünftigen Nachfrage nach bestimmten Gebäudetypen sowie zur Nutzungsdauer der Gebäude abgeschätzt, indem diese direkt den Input I^{BRI} bzw. Output O^{BRI} von Gebäuden modellieren. Als Bezugsgröße für die Gebäude wurde dabei der Bruttorauminhalt (BRI) in m³ verwendet. Über *Rohstoffintensitäten*, welche funktional den *Materialintensitäten* aus (Müller 2006) entsprechen, werden wiederum Inputs, Outputs sowie Lager des BRI auf Inputs, Outputs und Lager der Rohstoffe umgerechnet.

Bereits im Rahmen von PRRIG wurde festgestellt, dass für die Modellierung verschiedene Gebäudetypen bzw. -untertypen separat betrachtet werden sollten, da je nach Funktion, Alter und Baustil unterschiedliche Rohstoffarten und -intensitäten bzw. -gehalte zu erwarten sind.

Das Modell nach PRRIG eignet sich für Bauteile, deren Lebensdauer mindestens der Nutzungsdauer der betrachteten Gebäude entspricht wie beispielsweise Wände, Decken usw., da lediglich Veränderungen des BRI als Auslöser für Veränderungen des Rohstofflagers berücksichtigt werden. Für einzelne Komponenten, welche im Rahmen von Modernisierungszyklen ausgetauscht werden, wird ein weiterer Schritt des Modells empfohlen. Bei diesem werden die zu modernisierenden Bauteile wie beispielsweise Bodenbeläge oder Fenster separat betrachtet. Die Nutzungsdauer entspricht dem veranschlagten Intervall zwischen Modernisierungen, in welchen ein Austausch der entsprechenden Komponenten angenommen wird.

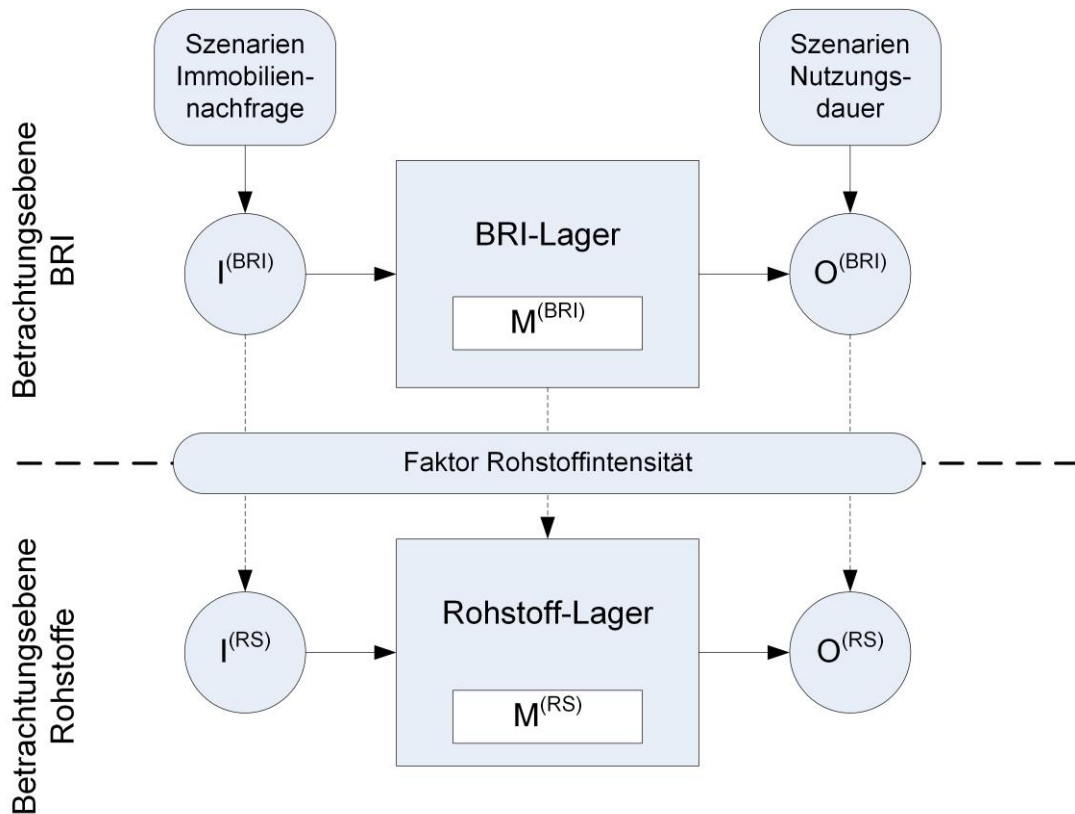


Abbildung 1-1: Im Rahmen des Projekts PRRIG entwickeltes dynamisches Materialflussmodell für Massebauteile, Abbildung aus: (Technische Universität Darmstadt 2016).

Die Nutzungsdauer der Gebäudetechnik ist bedingt durch beispielsweise Verschleiß, technische Defekte und Veralterung ebenfalls deutlich kürzer als die Nutzungsdauer des Gesamtgebäudes. Daher kann Geräteaustausch unabhängig von Abbruch oder Modernisierung der Gebäude notwendig sein. Weiterhin wird Gebäudetechnik bedingt durch verschiedene Faktoren wie neuartige Geräte, gesetzliche Vorschriften oder wechselnden Lebensstil in Bestandsgebäuden nachgerüstet oder wieder aus diesen entfernt, ohne dass eine quantitative Änderung des Gebäudebestands zu erkennen ist. Zudem benötigt sie in vielen Fällen Reparaturen, die ebenfalls Rohstoffflüsse erzeugen. Um möglicherweise wiederverwendbare Geräte zu erkennen ist es zudem sinnvoll, nicht nur die Rohstoffflüsse abzuschätzen, sondern auch die Outputs der Geräte.

Daher können die bestehenden dynamischen Materialflussmodelle für Gebäudetechnik nicht angewendet werden. Es ist eine weitere Detaillierung sowie die Einarbeitung zusätzlicher, Gebäudetechnikspezifischer Einflussfaktoren und einer Betrachtungsebene der Gebäudetechnik selbst notwendig.

1.3 Zielsetzung dieser Arbeit

Diese Arbeit soll dabei helfen, die Wissenslücken im Bereich der Rohstoffrückgewinnung aus Gebäuden zu schließen, und konzentriert sich daher auf den bislang wenig untersuchten Bereich der Gebäudetechnik. Die zentrale zu beantwortende Fragestellung ist dabei, wie die Arten und Mengen von Rohstoffen ermittelt werden können, welche derzeit und zukünftig in Gebäudetechnik gebunden sind bzw. daraus frei werden.

Dazu wird die Methodik des dynamischen Materialflussmodells weiterentwickelt für die Ermittlung der Arten und Mengen von Gebäudetechnik sowie der darin gebundenen Rohstoffe. Dieses Modell soll sowohl eine Abschätzung des aktuellen Lagers an Geräten bzw. Rohstoffen im Bestand ermöglichen als auch Prognosen bzw. Szenarien zu den zukünftig frei werdenden Mengen und Arten. Anschließend wird das dynamische Materialflussmodell exemplarisch verwendet, um Fahrtreppen in Deutschland

sowie deren Rohstoffe zu untersuchen. Damit wird zugleich ein weiteres Puzzleteil für das deutschlandweite Kataster der Rohstoffe im Gebäudebereich geliefert.

Um Maßnahmen zur Optimierung der Rückgewinnung der mit einem solchen Modell abgeschätzten Rohstoffmengen erstellen zu können, ist ein detailliertes Wissen über den Status quo der technischen, ökonomischen und ökologischen Randbedingungen sowie die derzeitige tatsächliche Umsetzung der Rückgewinnung in der Praxis notwendig. Daher untersucht diese Arbeit auch den Status quo der Rückgewinnung im Bereich der Gebäudetechnik, um die derzeitigen Hemmnisse und Möglichkeiten zu identifizieren und Handlungsempfehlungen zu entwickeln.

2 Verwendete Methoden und Aufbau der Arbeit

Um das Potenzial der Rohstoffarten und -massen³ im deutschen Gebäudebestand abschätzen zu können, soll die Methodik des dynamischen Materialflussmodells für Gebäudetechnik entwickelt und anhand von einem praktischen Beispiel getestet werden. Zudem soll der Status quo in der Praxis des Recyclings und der Wiederverwendung von Gebäudetechnik analysiert werden, um mögliche Hemmnisse für die Rohstoffrückgewinnung bzw. die Wiederverwendung von Gebäudetechnik zu identifizieren. Um den Status quo zu verbessern, werden aus den analysierten Hemmnissen Handlungsempfehlungen erstellt. Nachfolgend werden die methodischen Vorgehensweisen zu diesen Arbeitspaketen vorgestellt.

2.1 Methodik der Analyse des Status quo der Gebäudetechnik und ihrer Rückgewinnung

Um ein Modell zur Abschätzung der Materialflüsse zu erstellen ist es zunächst notwendig, den Forschungsgegenstand Gebäudetechnik zu charakterisieren. Dazu werden in Kapitel 3.1 empirische Ermittlungen in kleinerem Umfang durchgeführt, um einen qualitativen Überblick über vorhandene Arten der Gebäudetechnik und ihre jeweiligen Eigenschaften zu gewinnen. Da das Modell für jegliche Arten der Gebäudetechnik anpassbar sein soll, wird die Analyse des Status quo nicht auf Fahrtreppen beschränkt.

Das Materialflussmodell bietet eine quantitative Informationsgrundlage zur Entwicklung von Maßnahmen zur Optimierung der Rückstoffrückgewinnung aus Gebäudetechnik. Um diese möglichst effizient zu gestalten, ist weiterhin Kenntnis über den Status quo der Rohstoffrückgewinnung und mögliche ungenutzte Potenziale notwendig. Daher werden die derzeitigen technischen, ökonomischen und ökonomischen Rahmenbedingungen sowie das tatsächliche Vorgehen in der Praxis analysiert. Dies geschieht mittels Experteninterviews sowie Literaturrecherche in Kapitel 3.2.

2.2 Methodik der Erstellung eines Materialflussmodells

Der Struktur des zu entwickelnden Modells liegt ein dynamisches Materialflussmodell von (Müller 2006) zugrunde. Dieses wurde beispielhaft für die Entwicklung der Rohstoffe im Wohnungsbau in den Niederlanden entwickelt und betrachtet die Ebenen der Bevölkerungsentwicklung, die Anzahl der benötigten Wohnungen und die darin gebundenen Rohstoffe. Nach diesem Prinzip wurde von der Verfasserin dieser Arbeit bereits im Rahmen des Projekts PRRIG an der TU Darmstadt ein dynamisches Materialflussmodell erstellt, welches Aussagen über die Rohstoffe von Gebäudekomponenten wie Wänden, Decken, Türen, Fenstern etc. auch für Nichtwohngebäude treffen kann (siehe Kapitel 1.2).

Dieses Modell wird im Rahmen dieser Arbeit in Kapitel 4 weiterentwickelt, um es auch für Geräte und Rohstoffe der Gebäudetechnik verwenden zu können. Zunächst wird dazu analysiert, aufgrund welcher Einflüsse Gebäudetechnik ein- bzw. ausgebaut wird. Die Einflussfaktoren werden nachfolgend Treiber genannt, da sie Veränderungen des Systems antreiben. Die aus der Analyse gewonnenen Erkenntnisse werden in einem Modell abgebildet, indem die Realität abstrahiert und systematisch dargestellt wird. Die Treiber werden zunächst verschiedenen Betrachtungsebenen zugeordnet. Auf jeder dieser Ebenen wird ein aussagekräftiges Lager definiert, welches den Bestand zu einem bestimmten Zeitpunkt symbolisiert. Die Treiber werden dann auf Seite der Inputs bzw. Outputs dieses Lagers angeordnet. Die Betrachtungsebenen werden durch Umrechnungsfaktoren verknüpft.

Das Modell soll prinzipiell für jede Art der Gebäudetechnik nutzbar sein. Da nicht für jede Gebäudetechnikart die gleichen Treiber vorhanden sind, werden daher zunächst alle denkbaren Treiber integriert. Je nach untersuchter Gebäudetechnikart kann dann entschieden werden, welche Treiber relevant sind und welche im konkreten Fall nicht berücksichtigt werden müssen. Je nach

³ Als „Rohstoffe“ werden im Rahmen dieser Arbeit Grundstoffe verstanden, die in Produktionsprozessen in Erzeugnisse eingehen und somit deren stofflichen Hauptbestandteil bilden. Dies entspricht der betriebswirtschaftlichen Definition nach (Gabler Wirtschaftslexikon 2017a). Beispiele für Rohstoffe in diesem Sinne sind Stahl, Aluminium, Holz, verschiedene Arten von Kunststoffen etc.

Gebäudetechnikart sind auch unterschiedliche Maßeinheiten sinnvoll. Aus einer vorangegangenen explorativen Datenerhebung werden daher in Kapitel 4.2 Empfehlungen für die Anwendung des Modells abgeleitet, indem für verschiedene Beispiele von Gebäudetechnik geeignete Modellannahmen und Maßeinheiten erläutert werden.

Die Berechnung der Materialflüsse aus Fahrtreppen in Kapitel 5 demonstriert schließlich die Anwendung des Modells durch ein konkretes Beispiel. Dabei werden verschiedene Techniken der Datenerhebung genutzt, sodass sowohl Teilmodelle mit detaillierten Eingangsdaten und ausdifferenzierten Szenarien gezeigt werden als auch überschlägige Abschätzungen basierend auf wenigen Eingangsdaten und Annahmen.

3 Eigenschaften der Gebäudetechnik und Status Quo ihrer Rückgewinnung

Gebäudetechnik wird auch als Technische Gebäudeausrüstung bezeichnet. Darunter werden alle in einem Bauwerk eingebauten, daran angeschlossenen oder damit fest verbundenen Anlagen bzw. Anlagenteile verstanden (DIN 276-4). Diese dienen beispielsweise der Ver- und Entsorgung, der Logistik, der Sicherheit oder der Informationsübertragung. Sie werden in die in Tabelle 3-1 dargestellten Gruppen unterteilt.

Tabelle 3-1: Gruppierung der Gebäudetechnik nach (DIN 276-4)

Gruppe nach DIN 276-4	Beispiele
Abwasser-, Wasser- & Gasanlagen	Anlagen zur Gas- und Wasserversorgung sowie Abwasserentsorgung inklusive Leitungen, Abläufen etc. bis zum Vorfluter
Wärmeversorgungsanlagen	Anlagen für die Wärmeerzeugung wie Heizkessel, Pelletofen etc., Leitungen sowie Heizflächen
Lufttechnische Anlagen	Anlagen für Lüftung und/oder Klimatisierung
Starkstromanlagen	Anlagen zur Erzeugung und Verteilung von Strom, Schaltanlagen, Beleuchtungsanlagen, Blitzschutzanlagen
Fernmelde- und informations-technische Anlagen	Anlagen zur Telekommunikation, Signalanlagen, Alarmanlagen, Parkleitsysteme usw.
Förderanlagen	Aufzüge, Fahrtreppen, Fahrsteige, Krananlagen usw.
Verfahrenstechnische Anlagen	Anlagen für infrastrukturelle Verfahren wie Wassergewinnung, Behandlung bzw. Entsorgung von Abfällen und Abwasser usw.
Automation	Verkehrsleitanlagen, Verkehrssicherungsanlagen usw.

Ein einzelnes, abgeschlossenes Element der Gebäudetechnik wird im Rahmen dieser Arbeit als *Gerät* bezeichnet. Dies kann beispielsweise ein Rauchwarnmelder sein, aber auch ein Aufzug mitsamt seiner Kabine, Seilen, Gegengewicht, Bedienflächen etc. Die einzelnen Bauteile eines Geräts, beispielsweise das Gegengewicht des Aufzugs oder eine Platine aus dem Rauchwarnmelder, werden *Komponenten* genannt. Ein aus einem Gebäude entferntes Gerät wird als *Altgerät* definiert. Als *Geräteart* wird eine Gruppe von Geräten bezeichnet, die eine gleiche Funktion erfüllen, beispielsweise Fahrtreppen, elektrische Sicherungen oder Lichtschalter. Diese werden weiter differenziert nach *Gerätetypen* mit gleichem oder sehr ähnlichem Aufbau, beispielsweise sind Leitungsschutzschalter, Schmelzsicherungen sowie Leitungsschutzschalter mit Drehgewinde verschiedene Gerätetypen der elektrischen Sicherungen.

Um ein repräsentatives Materialflussmodell erstellen zu können ist es zunächst notwendig, bestimmte Eigenschaften der Gebäudetechnik zu analysieren. Weiterhin wird der derzeitige Stand der Rückgewinnung von Rohstoffen ermittelt. Dabei werden elektronische Komponenten gesondert betrachtet, da diese derzeit eine spezielle Herausforderung beim Recycling darstellen.

3.1 Grundlegende Eigenschaften von Gebäudetechnik

Eine explorative Datenerhebung ermöglicht den Gewinn qualitativer Kenntnisse über die in Gebäuden auftretenden Arten von Gebäudetechnik sowie deren stoffliche Zusammensetzung. Ebenfalls zeigt sie, in welcher Einheit und auf welche Größe bezogen Geräte bzw. Rohstoffe im Materialflussmodell angegeben werden müssen sowie wie verschiedene Geräte einer Art und ggf. unterschiedliche Rohstoffarten und -gehalte zusammengefasst werden können.

3.1.1 Arten der Gebäudetechnik

Die in verschiedenen Gebäuden vorhandene Gebäudetechnik variiert teils erheblich. Dies ist unter anderem auf die unterschiedlichen Funktionen verschiedener Gebäudetypen zurückzuführen. So benötigen beispielsweise öffentliche Gebäude oder Bürogebäude mit hohem Personenaufkommen lufttechnische Anlagen zur Klimatisierung; Krankenhäuser verfügen für Notfälle über eigene Anlagen zur Stromerzeugung. Mit diesen Geräten ist jedoch beispielsweise in Wohngebäuden nicht zu rechnen. Der erste Schritt um untereinander vergleichbare Gruppen von Gebäuden für das Materialflussmodell

zu erhalten ist somit eine Differenzierung nach der Gebäudefunktion. Zusätzlich ist nach weiteren Charakteristika zu unterscheiden, wie nachfolgend erläutert wird.

3.1.1.1 Einfluss der Charakteristika Baujahr, Standort und Gebäudegestaltung

Während der Aufnahme verschiedener Geräte zeigte sich, dass selbst in Gebäuden mit gleicher Funktion die Gebäudetechnik nicht einheitlich ist, d.h. noch von weiteren Faktoren abhängt. Diese sind im Wesentlichen das Baujahr, der Standort sowie die Bauform bzw. Gestaltung des Gebäudes, wie nachfolgend an Beispielen gezeigt wird. Für das Materialflussmodell bedeuten diese Einflussfaktoren, dass wiederum entsprechende (Unter-)Gruppierungen erstellt und separat betrachtet werden müssen. Dies wird in Kapitel 4.2.1 näher erläutert.

Im Baujahr eines Gebäudes bzw. im Einbaujahr der Gebäudetechnik galten möglicherweise andere Normungen, Verordnungen, Gesetze oder ein anderer Stand der Technik für die benötigten Arten, Mengen und Ausführungen der Geräte. Vor dem Stichtag errichtete Gebäude oder eingebaute Gebäudetechnik genießen teilweise einen sogenannten Bestandsschutz und können trotz zwischenzeitlich veränderter Rechtslage erhalten bleiben. Bei sicherheitsrelevanten Neuerungen besteht jedoch häufig Nachrüstpflicht innerhalb einer definierten Übergangsfrist. Zudem erstellt jedes Bundesland eigene Bauordnungen und ergänzende Vorschriften, sodass sich Einführungszeitpunkte sowie weitere Bestimmungen regional unterscheiden können.

Für Neubauten werden beispielsweise Anforderungen für Aufzüge festgelegt sowie die Gebäudehöhe, ab der Aufzüge eingebaut werden müssen, wie in §33 der Hessischen Bauordnung (HBO, vom 15.01.2011). Dies gilt jedoch nur für Neubauten bzw. bei Modernisierungen und Nutzungsänderungen von Bestandsgebäuden. Somit müssen in alten Wohngebäuden keine Aufzüge nachinstalliert werden. Nachrüstpflicht hingegen existiert beispielsweise für Rauchwarnmelder in Wohngebäuden. Die Hessische Bauordnung schreibt dazu vor, dass Eigentümer in Wohneinheiten alle Schlafräume, Kinderzimmer und auf deren Rettungsweg liegende Flure mit einem Rauchwarnmelder ausstatten müssen. Für Neubauten gilt dies bereits ab Juni 2005, für Bestandsbauten gilt Nachrüstpflicht bis zum 31. Dezember 2014 (HBO, vom 15.01.2011). In Berlin hingegen haben Eigentümer noch bis zum 31. Dezember 2020 Zeit für die Nachrüstung; Neubauten mussten erst ab dem 1. Januar 2017 mit Rauchwarnmeldern ausgestattet sein. In diesem Bundesland müssen in allen Fluren und Aufenthaltsräumen von Wohnungen Rauchwarnmelder installiert werden, außer in Bädern und Küchen (BauO Bln, vom 28.06.2016). In Baden-Württemberg besteht die Rauchwarnmelderpflicht nicht nur für Wohngebäude, sondern für alle Räume, in welchen bestimmungsgemäß Personen schlafen. Dies schließt beispielsweise Pflegegebäude, Hotels sowie Kindertagesstätten mit Schlafplätzen ein (LBO, vom 05.03.2010).

Auch die architektonische Gestaltung, d.h. Grundriss, Gebäudehöhe usw. nimmt Einfluss auf die benötigte Gebäudetechnik, sowohl hinsichtlich der rechtlichen Anforderungen als auch hinsichtlich der tatsächlichen Notwendigkeit. Der Einbau eines Aufzuges in Wohnungsneubauten ist beispielsweise erst ab einer bestimmten Anzahl von Ebenen oder einer bestimmten Gebäudehöhe verpflichtend; zum Beispiel in Hessen ab 13 m Gebäudehöhe bzw. in Berlin für Gebäude mit mehr als vier Obergeschossen (HBO, vom 15.01.2011; BauO Bln, vom 28.06.2016).

3.1.1.2 Inhomogenität trotz gleicher Charakteristika der Gebäude

Eigentümer können freiwillig Nachrüstungen vornehmen bzw. zusätzliche Gebäudetechnik einbauen lassen, auch wenn ihnen dies nicht rechtlich vorgeschrieben ist. Aufzüge in Bestandsbauten oder in Wohngebäuden mit weniger Ebenen beispielsweise erhöhen die Wettbewerbsfähigkeit auf dem Immobilienmarkt. Eine freiwillige Installation von Sicherheitstechnik wie Alarmanlagen oder Kohlenstoffmonoxid-Meldern kann Risiken verringern. Dies bedeutet, dass rechtliche Vorgaben zwar einen Anhaltspunkt für die mindestens zu erwartende Gebäudetechnik geben, darüber hinaus aber durchaus weitere Geräte vorhanden sein können.

Weiterhin sind teilweise sogar innerhalb eines spezifischen Gebäudes verschiedene Ausführungen einer Geräteart zu verzeichnen. So zeugt beispielsweise die Aufnahme von Stromverteilerkästen in einem Wohngebäude der 1960er Jahre in Darmstadt von zahlreichen Teilumbauten in der Elektroinstallation, welche im Laufe der Jahre ein sehr inhomogenes System hervorbrachten. Es befand sich bei der Gebäudeaufnahme je Ebene ein Verteilerschrank im Treppenhaus, in dem sowohl Stromzähler als auch Sicherungen aller Wohnungen auf der jeweiligen Ebene installiert waren. Die insgesamt acht Stromzähler (sieben Wohneinheiten sowie ein allgemeiner Zähler) wiesen zwar insgesamt fünf unterschiedliche Einbauzeitpunkte zwischen 1991 und 2005 auf, sind aber prinzipiell untereinander vergleichbar. Größere Unterschiede zeigten sich bei den Sicherungen, welche ebenfalls zu unterschiedlichen Zeitpunkten erneuert wurden. Das Einbaujahr der Sicherungen war nicht direkt ersichtlich, das optische Erscheinungsbild deutete jedoch auf mindestens vier verschiedene Einbauzeitpunkte hin. Dadurch liegen verschiedene, nicht miteinander vergleichbare Typen von Sicherungen vor. Abbildung 3-1 zeigt die Unterschiede der Sicherungen von zwei gegenüberliegenden, achsensymmetrischen Wohneinheiten. Die linke Seite enthält für eine der Wohnungen drei Schmelzsicherungen, in der Abbildung mit „1“ markiert. Sie besitzen einen Leiter, welcher bei Überschreiten einer bestimmten Stromstärke für eine vorgegebene Zeit abschmilzt und damit den Stromfluss unterbricht. Nach den (TAB 2007) und der (DIN 18015) sind Schmelzsicherungen nur noch für fest angeschlossene Geräte zulässig, in diesem Fall für Durchlauferhitzer, Gastherme und Küchenherd. In allen anderen Fällen sind Leitungsschutzschalter zu verwenden, meist in Form der in der Abbildung mit „3“ markierten Ausfertigung. Sie unterbrechen im Störfall den Stromfluss durch einen elektromagnetischen oder thermischen Abschaltmechanismus, welcher reversibel ist, d.h. sobald wieder sichere Bedingungen im System vorliegen, können sie manuell wieder eingeschaltet werden. Bei den mit „2“ markierten Sicherungen handelt es sich ebenfalls um Leitungsschutzschalter, jedoch in einer Sonderausfertigung mit einem Drehgewinde, um Schmelzsicherungen damit ersetzen zu können. Abbildung 3-1 zeigt somit auch zwei verschiedene Möglichkeiten, wie der Nachrüstpflicht bei Schmelzsicherungen für nicht fest angeschlossene Geräte nachgekommen werden kann.

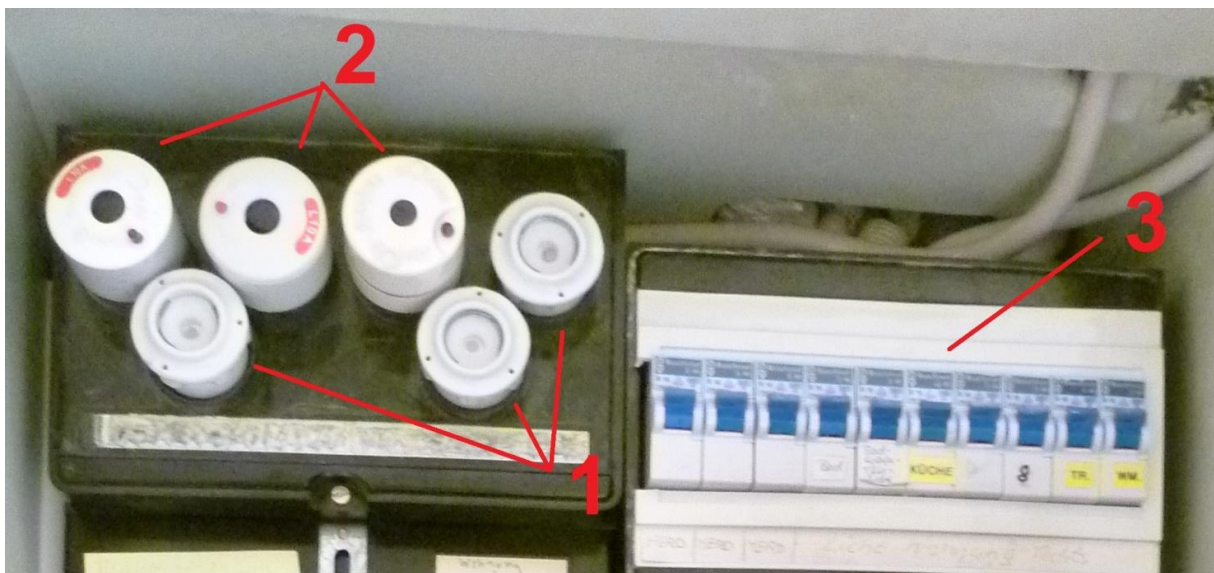


Abbildung 3-1: Variierende Sicherungen in einem Wohnhaus: Schmelzsicherungen (1) und spezielle Leitungsschutzschalter (2) für eine Wohneinheit, modernere Leitungsschutzschalter (3) für eine andere Wohneinheit.

Für die unterschiedlichen Einbauzeitpunkte bzw. für die jeweils nur teilweise Erneuerung der Gebäudetechnik sind verschiedene Gründe möglich. Im Falle des aufgenommenen Hauses wurden einzelne Modernisierungen jeweils dann durchgeführt, wenn ein Defekt eine Reparatur erforderlich machte oder beim Mieterwechsel weitere Renovierungstätigkeiten notwendig wurden, in deren Zug die Elektroinstallation mit vergleichsweise geringem Aufwand ebenfalls modernisiert werden konnte. Ein weiterer Grund ist, dass die einzelnen Wohneinheiten eines Gebäudes bzw. Gebäudekomplexes durchaus unterschiedlichen Eigentümern gehören können. Dies wurde beispielsweise bei

verschiedenen untersuchten Wohngebäuden im „Wohnpark Tegeler See“ in Berlin festgestellt. Werden durch die Eigentümergemeinschaft keine einheitlichen Maßnahmen beschlossen, so kann jeder Eigentümer nach eigenem Ermessen oder Bedarf die Gebäudetechnik seiner Wohneinheiten modernisieren oder ergänzen.

Diese Ursachen für inhomogene Gebäudetechnik innerhalb von Gebäuden sind nicht nur für Wohnhäuser mit verschiedenen Wohneinheiten möglich, sondern generell bei in mehrere Einheiten unterteilten Gebäuden, beispielsweise mit Büronutzung oder ärztlicher Nutzung. Aufstockungen oder nachträgliche Ausbauten von Gebäuden können ebenfalls zu einem unterschiedlichen Alter und damit auch zu Unterschieden der Arten oder Typen von Gebäudetechnik führen, da die Gebäudetechnik der älteren Gebäudeteile dabei normalerweise nicht erneuert wird. Besonders auffällig war dies bei der Gebäudeaufnahme von Fahrtreppen in Bahnhöfen und Einkaufszentren sowie auch im aufgestockten „Wohnpark Tegeler See“.

Bei der Erstellung des Materialflussmodells kann somit möglicherweise auch für Gebäudetypen gleichen Baujahres, Standortes und gleicher baulicher Gestaltung die Gebäudetechnikebene nicht pauschal aus Stichproben hochgerechnet werden. Wie mit diesem Hindernis umgegangen werden kann, wird in Kapitel 4.2.3.2 erläutert.

3.1.2 In Gebäudetechnik enthaltene Rohstoffarten und -gehalte

Innerhalb einer Art der Gebäudetechnik zeigten sich variierende Arten und Gehalte verschiedener Rohstoffe, die auf mehrere Ursachen zurückgeführt werden können.

3.1.2.1 Beeinflussung durch gesetzliche Vorgaben

Gesetzliche Vorgaben können neben der Art der zu verbauenden Gebäudetechnik ebenfalls die Art der verwendeten Materialien beeinflussen. Meist ist dies der Fall bei Materialien, die nachträglich als Gefahrenstoff identifiziert wurden. Ein bekanntes Beispiel dafür ist Asbest, welcher in Deutschland seit 1993 nicht mehr verbaut werden darf, aber in Gebäuden und auch in Gebäudetechnik früherer Baujahre noch immer vorhanden ist (Umweltbundesamt 2016). Er ist wie in Abbildung 3-2 markiert beispielsweise in der Abdichtung zwischen den Rippen von Heizkörpern zu finden. In der Regel besteht kein Interesse mehr an Wiederverwendung oder Recycling eines Gefahrenstoffes. Dennoch ist es notwendig, sie im Rahmen der Rohstoffrückgewinnung ebenfalls zu betrachten und gegebenenfalls kontaminierte Geräte entsprechend identifizieren zu können. Die Rückgewinnung anderer Rohstoffe des jeweiligen Geräts wird durch sie erheblich erschwert, da während des Rückbaus und ggf. während des Recyclings besondere Vorsichtsmaßnahmen notwendig sind, um ihr Entweichen in die Umwelt zu vermeiden.

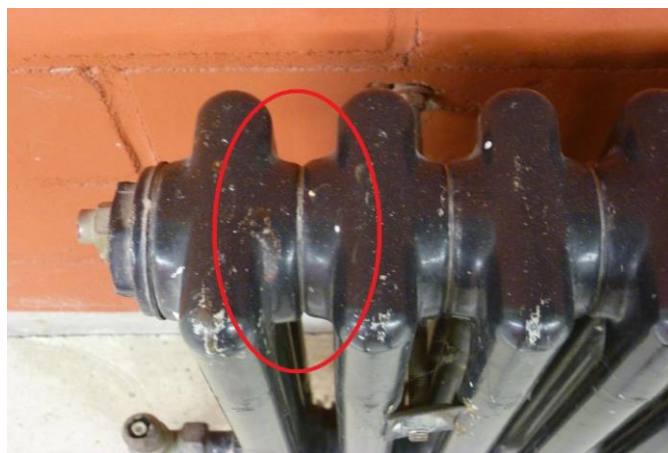


Abbildung 3-2: Vorkommen des Gefahrenstoffes Asbest in der Abdichtung eines Heizkörpers.

3.1.2.2 Zeitgeist und weitere Gründe

Tabelle 3-2 zeigt die Ergebnisse einer exemplarischen Aufnahme von Türen der Verteilerkästen für Elektroinstallation in Wohneinheiten. Sie wurden jeweils auf Hauptmaterial und Größe untersucht. Weitere Materialien können in geringer Menge vorkommen, beispielsweise ein Schließmechanismus mit Kunststoffgriff oder ein Stahlscharnier.

Tabelle 3-2: Aufgenommene Türen von Elektroinstallationsverteilern für Wohneinheiten

Nr.	Hauptmaterial	Breite (cm)	Höhe (cm)	Einbaujahr	Wohneinheiten	Größe je Wohneinheit (cm ²)
1	Holz	35,0	50,0	1956	2	875
2	Holz	51,0	51,0	um 1965	2	1.301
3	Stahlblech lackiert	28,0	20,0	1975	1	560
4	Stahlblech lackiert	30,0	34,0	um 1990	1	1.020
5	Kunststoff	26,0	26,0	1992	1	676
6	Kunststoff	26,0	28,5	um 1995	1	741
7	Stahlblech lackiert	35,0	63,0	1998	1	2.205
8	Stahlblech lackiert	52,0	92,0	1999	1	4.784
9	Stahlblech lackiert	52,0	136,0	2003	3	2.357
10	Stahlblech lackiert	29,0	69,5	2014	1	2.016
11	Stahlblech lackiert	42,0	62,0	1991	2	1.302
12	Stahlblech lackiert	42,0	62,0	1991	2	1.302
13	Stahlblech lackiert	80,0	109,0	2015	3	2.907
14	Stahlblech lackiert	80,0	109,0	2015	6	1.453
15	Kunststoff	30,0	37,0	2001	1	1.110
16	Stahlblech lackiert	33,0	46,0	um 1992	1	1.518
17	Stahlblech lackiert	30,0	70,0	2016	1	2.100

Zu erkennen ist, dass ein Verteiler sowohl für nur eine als auch für mehrere Wohneinheiten zur Verfügung stehen kann. Auffällig ist die stark variierende Größe in Abhängigkeit der Anzahl der versorgten Wohneinheiten, beispielsweise zwischen Tür Nr. 3 und Nr. 8. Es konnte kein Grund für diese Unterschiede festgestellt werden, da prinzipiell der gleiche Inhalt in den Verteilern gefunden wurde. Möglicherweise arbeiten Installateure mit einem jeweiligen Standardmodell oder planen teilweise noch Raum für Erweiterungen ein.

Bezüglich des Hauptmaterials fällt auf, dass die Mehrzahl der aufgenommenen Türen aus lackiertem Stahl besteht. Die ältesten Türen, welche aus Gebäuden mit einem Baujahr von 1956 bzw. Mitte der 1960er Jahre stammen, bestehen aus Holz. Kunststofftüren hingegen treten erst seit den 1990er Jahren in Erscheinung und auch nur bei relativ geringer Größe der Türen, was möglicherweise darauf zurückzuführen ist, dass es als Werkstoff für größere Abmessungen ungeeignet ist. Darauf deutet auch hin, dass in aktuellen Produktkatalogen verschiedener Hersteller von Verteilern keine wesentlich größeren Geräte aus Kunststoff zu finden sind (Hager 2016; Hensel 2016; Striebel & John 2016; Tehnoplast 2016).

Das Produktangebot verschiedener marktführender Hersteller von Verteilern zeigt eine etwas erweiterte Materialvielfalt auf. Am verbreitetsten sind wie in der Stichprobe lackiertes Stahlblech sowie Kunststoffe, diese teilweise transparent (Hager 2016; Hensel 2016; Tehnoplast 2016). Zudem gibt es Varianten aus Edelstahl oder mit einem Bilderrahmen als Tür, d.h. auch Glas kann prinzipiell als Material vorhanden sein (Striebel & John 2016). Verteiler aus Holz wurden bei der Analyse der Herstellerkataloge nicht mehr vorgefunden; diese scheinen antikiert zu sein.

Am Beispiel der Verteiler ist ersichtlich, dass verwendete Materialien und damit auch Rohstoffgehalte abhängig von Zeitgeist und persönlichem Geschmack des Kunden sind sowie dass Abmessungen bei nicht genormten Geräten stark variieren können.

3.1.3 Extremfall elektronische Bauteile

Viele Arten der Gebäudetechnik enthalten elektronische Komponenten zur Automatisierung, Steuerung etc. Beispiele dafür sind Beförderungsanlagen wie Fahrtreppen und Aufzüge, aber auch Belüftungssysteme, Rollläden usw. Diese Komponenten haben im Vergleich zu Massebauteilen eine geringe Masse, enthalten jedoch vor allem auf Platinen eine Vielzahl wirtschaftlich bedeutender Rohstoffe wie Kupfer, Eisen, Aluminium, Edelmetalle und Seltene Erden, aber auch giftige Metalle wie Blei, Quecksilber oder Nickel, welche nicht in die Umwelt gelangen sollten (Li et al. 2004).

Je Komponente sind jedoch nur Kleinstmengen der Rohstoffe zu erwarten. Zudem ist bei ihnen die Herausforderung der variierenden Rohstoffgehalte besonders groß. Bei Herstellung der Bauteile wie Kondensatoren oder Leiterbahnen ist Rohstoffsubstitution möglich. Aus ökonomischen Gründen werden daher Rohstoffe verwendet, welche zum jeweiligen Produktionszeitpunkt am günstigsten zu beschaffen sind. Aufgrund der teilweise stark schwankenden Marktpreise und verschiedener Chargen von Komponenten im Produktionsprozess können die Rohstoffe sich auch innerhalb des gleichen Typs oder der gleichen Serie eines Geräts unterscheiden (Li et al. 2004; Veit et al. 2005). Platinenhersteller bestellen und vergüten die einzelnen Bauteile nicht nach ihrem Rohstoffgehalt, sondern nach ihrer Funktion bzw. ihren Leistungsdaten bei den Zulieferern (Wendenburg 2015). Dies bedeutet, dass die Hersteller der Gebäudetechnik meist selbst im Ungewissen sind, welche Rohstoffe verbaut wurden.

Die Generierung von Rohstoffgehalten aus einer Stichprobe lässt somit keine Aussagen über zu einem anderen Zeitpunkt oder an einem anderen Ort hergestellte Komponenten zu. Es ist zudem praktisch nicht möglich, zukünftige Rohstoffgehalte zu prognostizieren, da dazu der zukünftige Marktpreis abgeschätzt werden müsste. Auf diesen wirkt jedoch eine Vielzahl von Faktoren auf globaler Ebene ein wie die Entdeckung neuer Rohstoffvorkommen, Politik, Nachfrage, Konkurrenz durch andere Produkte, die generelle Entwicklung der Wirtschaft usw. Daher kann höchstens von verschiedenen, höchst spekulativen Szenarien ausgegangen werden. Wie in Kapitel 3.2.2.1 erläutert wird, ist die Rückgewinnung von Rohstoffen aus elektronischen Komponenten jedoch nur bis zu einem sehr geringen Rückgewinnungsgrad⁴ wirtschaftlich. Es besteht daher derzeit seitens der Verwerter kein Interesse an diesen Komponenten. Die Erstellung eines dynamischen Materialflussmodells für solche Komponenten, welche bei unverhältnismäßig hohem Aufwand nur sehr unsichere Ergebnisse ermöglichen würde, ist daher derzeit nicht sinnvoll.

3.2 Status quo der Rückgewinnung der Gebäudetechnik bzw. ihrer Rohstoffe in der Praxis

Altgeräte sind „Stoff oder Gegenstand, dessen sich sein Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss“ und werden daher durch die *Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien* als „Abfall“ definiert (Europäisches Parlament und Rat 2008). Als Maßnahme der Abfallbewirtschaftung soll Abfall soweit möglich vermieden werden. Ist dies nicht möglich, so soll er in abfallender Rangfolge wiederverwendet, recycelt oder auf andere Weise verwertet werden wie beispielsweise energetisch oder als Füllmaterial. Erst wenn die genannten Maßnahmen nicht möglich sind, darf der Abfall beseitigt, d.h. deponiert werden (KrWG, vom 24.02.2012).

Da Gebäudetechnik in vielen Fällen essenzielle und teilweise sicherheitsrelevante Funktionen in einem Gebäude wahrnimmt und eine begrenzte Lebensdauer hat, ist Abfallvermeidung für sie im Normalfall kaum möglich. Daher wird nachfolgend lediglich der Status quo der Rückgewinnung und Wiederverwendung der Gebäudetechnik analysiert sowie das derzeitige stoffliche Recycling der Altgeräte.

⁴ Als Rückgewinnungsgrad wird in dieser Arbeit der Anteil eines speziellen Rohstoffes verstanden, der beim Recycling aus einem Altgerät zurückgewonnen wird, d.h. das Verhältnis der Masse des rückgewonnenen Rohstoffes zur im Altgerät verbleibenden Masse desselben Rohstoffes.

3.2.1 Rückgewinnung und Wiederverwendung von gebrauchter Gebäudetechnik

Wiederverwendung ist denkbar für Gebäudetechnik, die bei Abbrüchen oder Sanierungen frei wird, deren Nutzungsdauer aber noch nicht abgelaufen ist. Weiterhin bleibt infolge der Auflösung von Fachbetrieben und Lagern sowie nach Ausstellungen häufig teilweise unverpackte aber unbenutzte, neuwertige Gebäudetechnik zurück, die auf konventionellen Wegen keiner Nutzung mehr zugeführt würde (bauteilnetz Deutschland 2016b). Besteht Nachfrage nach einem Gerät, so ist es in der Regel umweltfreundlicher, ein aufbereitetes Altgerät zu verwenden welches an anderer Stelle als Abfall frei wird, als aus selbigem Altgerät Rohstoffe zurückzugewinnen und unter Aufwand von Energie und zusätzlichen Rohstoffen ein neues Gerät zu produzieren.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) förderte von 2006 bis 2009 den Aufbau eines Netzwerkes zur Wiederverwendung von Bauteilen, genannt „bauteilnetz Deutschland“ (bauteilnetz Deutschland 2016a). Dieses brachte mehrere regionale Börsen zum Kauf und Verkauf von Bauteilen hervor, darunter auch Gebäudetechnik. Die Börsen versuchen sowohl Privatpersonen als auch Bau- und Abbruchunternehmen, Planer und Behörden zu erreichen und arbeiten teilweise mit diesen zusammen. Derzeit (Stand Juni 2016) gibt es fünf regionale Bauteilbörsen des bauteilnetz Deutschland. Nachfrage besteht bei diesen vor allem für historische Materialien, welche beispielsweise für die Sanierung von Altbauten verwendet werden. Käufer und Verkäufer sind bislang hauptsächlich Privatpersonen mit eher kleineren Neubau- bzw. Sanierungsprojekten wie Einfamilienhäusern (bauteilnetz Deutschland 2016b).

In der Praxis ist die Nutzung von gebrauchter Gebäudetechnik aus verschiedenen Gründen oft unwirtschaftlich, unsicher oder unerwünscht. Für die Wiederverwendung müssen Altgeräte beschädigungsfrei ausgebaut, transportiert und ggf. gelagert werden, bis sich neue Nutzung findet. Planer müssen Informationen einholen, welche gebrauchte Gebäudetechnik gerade verfügbar ist und diese ggf. aus verschiedenen Quellen beschaffen. Dafür ist ein verglichen mit Bestellung und Einbau von Neugeräten hoher Arbeitsaufwand notwendig, der bei Gebäudetechnik im niedrigen Preisbereich nicht wirtschaftlich ist. Hinzu kommt, dass einerseits durch das oft fortgeschrittene Alter, andererseits durch Ausbau, Transport und Lagerung oft keine Gewährleistung für ein ordnungsgemäßes Funktionieren der Geräte mehr gegeben werden kann (Grimm 2016; KMG Ingenieurgesellschaft für Gebäude- und Versorgungstechnik mbH 2016; Noback 2016). Dies ist jedoch vor allem für sicherheitsrelevante Gebäudetechnik notwendig. Im Fall von Heiztechnik hingegen ist die Überprüfung bzw. Kontrolle laut dem bauteilnetz Deutschland relativ unkompliziert. Die Anlagen werden in diesem Fall nur von Fachbetrieben eingebaut und anschließend von einem Schornsteinfeger abgenommen, so wie es auch bei Neugeräten der Fall ist (bauteilnetz Deutschland 2016b).

Das fortgeschrittene Alter der Altgeräte führt auch dazu, dass ihre weitere technische Lebenserwartung geringer ist als bei Neugeräten. Es muss also früher mit Reparatur bzw. Austausch der Geräte gerechnet werden, weshalb sich besonders bei schlecht zugänglicher oder aufwendig verbauter Gebäudetechnik die Frage stellt, ob der Montageaufwand noch gerechtfertigt ist. Besonders bei älteren Modellen kann es auch vorkommen, dass keine Ersatzteile mehr vorgehalten werden. Daher wird auf den Börsen des bauteilnetz Deutschland keine solche Gebäudetechnik zum direkten Einbau angeboten. Allerdings können gerade diese Altgeräte als Ersatzteillager für andere alte, noch im Bestand verwendete Modelle dienen (bauteilnetz Deutschland 2016b).

Altgeräte sind in vielen Fällen auch technisch veraltet, weshalb sie vom Nutzer nicht mehr gewünscht werden oder nicht mehr nutzbar sind. So werden beispielsweise vor wenigen Jahren verbaute LAN-Kabel heute bereits als veraltet angesehen, da sich das Datenvolumen stetig erhöht und neuere Kabel schnellere Übertragungsraten ermöglichen (Noback 2016). Die aus ökologischen und ökonomischen Aspekten zu begrüßende steigende Energieeffizienz von Gebäuden führt dazu, dass beispielsweise alte Heizkörper in Neubauten oder wärmesanierten Gebäuden nicht mehr verwendet werden können, da ihre Heizleistung ein Vielfaches der tatsächlich noch benötigten Leistung beträgt. Ihre Nutzung wäre damit nicht nur energetisch höchst ineffizient, sondern auch unangenehm für die Nutzer des

Gebäudes, da sich die Temperatur nicht im angenehmen Bereich regeln ließe (KMG Ingenieurgesellschaft für Gebäude- und Versorgungstechnik mbH 2016).

Bei sichtbarer Gebäudetechnik wie Lichtschaltern, Klingeltafeln usw. muss zudem berücksichtigt werden, dass Altgeräte oft den optischen Ansprüchen nicht mehr genügen, beispielsweise aufgrund von nicht mehr als modern empfundenem Design, Vergilben von Plastikteilen und Abnutzung.

3.2.2 Rückgewinnung der Rohstoffe aus Gebäudetechnik

Aufgrund der nur sehr eingeschränkt möglichen Vermeidung und Wiederverwendung von Gebäudetechnik ist nun zu untersuchen, inwieweit für den Großteil der Gebäudetechnik das Recycling möglich ist bzw. optimiert werden kann, um die aus ökologischer Sicht ungünstige Deponierung zu vermeiden. Dazu sind vor allem folgende Aspekte zu betrachten:

- die technischen Möglichkeiten, die derzeit zur Verfügung stehen und damit den überhaupt möglichen Rahmen des Recyclings vorgeben
- die ökonomische Sicht auf das Recycling, d.h. inwieweit die technischen Möglichkeiten in der Praxis tatsächlich ausgenutzt werden
- ökologische Kosten und Nutzen des Recyclings, sprich wie und bis zu welchem Grad das Recycling einen Umweltnutzen verspricht

Um eine Strategie des „optimalen Recyclings“ zu finden, muss schließlich im Rahmen der technischen Möglichkeiten zwischen ökonomischen und ökologischen Aspekten abgewogen werden.

Gebäudetechnik aus mineralischen Stoffen wie keramische Sanitärobjekte zählen zur Abfallgruppe der mineralischen Bauabfälle. Sie werden in der Regel gemeinsam mit anderem Bauschutt recycelt. Derzeit werden rund 94,9% der mineralischen Bauabfälle verwertet, teils zu Verfüllmaterial für Abgrabungen, teils zu rezykliertem Zuschlag für Beton (Umweltbundesamt 2017). Daher sind sie hinsichtlich des Recyclings als weitestgehend unproblematisch einzustufen und werden nachfolgend nicht weiter betrachtet.

3.2.2.1 Recycling aus ökonomischer Sicht

Ob das Recycling eines Altgeräts ökonomisch, d.h. wirtschaftlich sinnvoll ist, hängt von den Recyclingkosten (d.h. dem ökonomischen Aufwand) und dem mit den rückgewonnenen Rohstoffen erzielbaren Preisen am Markt (d.h. dem ökonomischen Erlös) ab. Subtrahiert man den Aufwand vom Erlös, so ergibt sich der ökonomische Gewinn, welcher positiv oder negativ sein kann.

Der ökonomische Aufwand ist zum einen vom Recyclingprozess selbst abhängig, da dieser je nach Rohstoff und Verfahren Energie, Anlagen sowie chemische Substanzen benötigt. Zum anderen ist er aber auch stark vom Altgerät abhängig, denn je mehr verschiedene Rohstoffe es enthält und je unzugänglicher diese verbaut sind, desto aufwendiger wird die Demontage. So ist beispielsweise ein Luftschacht, der lediglich aus Aluminium besteht, sehr unkompliziert zu recyceln. Er wird ausgebaut, in kleinere Teile zerschnitten und wieder eingeschmolzen. Sofern das Aluminium je nach Legierung sortenrein gesammelt wird, geschieht dies ohne Qualitätsverlust. Elektronische Gebäudetechnik hingegen wie ein Touchscreen-Display zur Regulierung der Raumbeleuchtung oder ein Bedienfeld in einem Aufzug beinhalten Platinen, auf welchen in verschiedenen Komponenten eine Vielzahl unterschiedlicher Rohstoffe verbaut sind, die zudem auch noch in eher geringen Konzentrationen vorhanden sind. Um diese zu recyceln, müssen das Altgerät und schließlich die Platine zunächst zeitaufwendig demontiert werden. Dies ist unter Umständen auch automatisiert möglich. In diesem Fall muss aber der Demontageroboter auf die jeweilige Platine eingestellt sein. Wie in Kapitel 3.1.3 erläutert, schwanken gerade in Elektronikgeräten die Rohstoffgehalte erheblich, sodass für jedes Modell der Platine eine erneute Identifikation und Verortung der Rohstoffe sowie Einstellung des Demontageroboters notwendig ist.

Je mehr Prozent eines Rohstoffes aus einem Altgerät oder einer Komponente zurückgewonnen wurde, desto geringer wird seine Konzentration darin. Wie auch beim Erzgehalt in Bergwerken ist der ökonomische Aufwand höher, je geringer die Konzentration ist. Daher wird der ökonomische Aufwand größer, je höher die angestrebte Recyclingrate ist. Nach (Bunge 2016) ist dieser Anstieg exponentiell, wie in Abbildung 3-3 dargestellt.

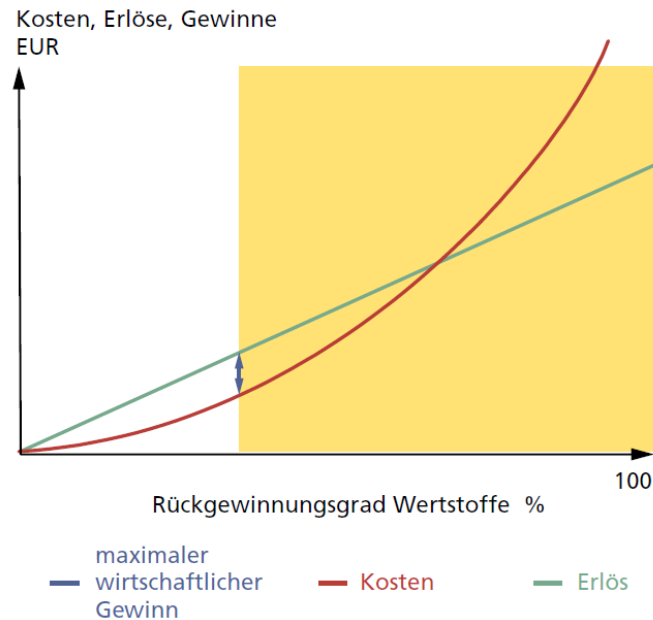


Abbildung 3-3: Ökonomisches Optimum bei der Rohstoffrückgewinnung, Abbildung aus: (Bunge 2016).

Ebenfalls dargestellt ist der ökonomische Erlös für die Rückgewinnung eines Rohstoffs, d.h. dessen Marktwert. Dieser ist abhängig vom Preis desselben Rohstoffs aus Primärquellen. Bei gleicher Qualität des Sekundärrohstoffs kann maximal der Preis des Primärrohstoffs verlangt werden. Sofern ein Downcycling, d.h. eine Verminderung der Qualität infolge des Recyclingprozesses entsteht, kann der Sekundärrohstoff nur zu einem geringeren Preis verkauft werden. In beiden Fällen wächst der ökonomische Erlös bei steigendem Rückgewinnungsgrad linear an. Das ökonomische Optimum wird bei dem Rückgewinnungsgrad erreicht, bei dem der ökonomische Gewinn maximal wird. Dies ist in Abbildung 3-3 mit einem blauen Pfeil gekennzeichnet.

Im Fall der elektronischen Komponenten sind jeweils nur geringe Gehalte von Rohstoffen enthalten, die Materialvielfalt ist hingegen groß (Li et al. 2004). Durch den exponentiellen Anstieg des ökonomischen Aufwandes und die niedrigen Erlöse für Sekundärrohstoffe ist bei ihnen das ökonomische Optimum bereits bei sehr niedrigem Rückgewinnungsgrad erreicht. Dies führt in der Praxis zum sogenannten „Rosinenpicken“: Es werden nur mit geringem Aufwand erreichbare und gleichzeitig besonders wertvolle Rohstoffe (vor allem Edelmetalle) zurückgewonnen. Seitens der Industrie ist derzeit auch kein nennenswertes Interesse an der Rückgewinnung selbst kritischer Rohstoffe aus elektronischen Geräten zu vermerken, da ihr Materialwert deutlich geringer ist als der Komponentenwert, sodass selbst eine Rohstoffverknappung sich prozentual kaum auf den Endpreis auswirkt (Brunner 2015).

Bei Altgeräten, die eine geringe Materialvielfalt aufweisen und leicht demontiert werden können wie der oben erwähnte Lüftungsschacht aus Aluminium, kann jedoch ein deutlich größerer oder teilweise annähernd der komplette Rohstoffgehalt zurückgewonnen werden, ohne dass der Aufwand exponentiell ansteigt. Es ist stattdessen für das Extrembeispiel des Lüftungsschachtes aus Aluminium ein linearer Anstieg analog des ökonomischen Erlöses zu erwarten. Das bedeutet, dass der ökonomische Gewinn bei jedem Rückgewinnungsgrad gleichbleibend ist. Ist er positiv, wird in der Praxis in der Regel bis auf einen möglichen Materialverlust in Folge des Recyclingverfahrens der vollständige Rohstoffgehalt zurückgewonnen.

Während die Verfahrenskosten für die Rückgewinnung der Rohstoffe aus einer Komponente relativ konstant bleiben, verändert sich der Erlös dafür abhängig von den Marktpreisen der Primärrohstoffe. In den letzten Jahren schwankte dieser insbesondere bei Metallen und Seltenen Erden stark und ist generell gesunken. Letztere haben sich 2015 teils auf ein Zehntel ihres Preises von 2010 verbilligt (The Wall Street Journal 2015). Da diese Arbeit eine dynamische Betrachtung des Recyclings von Gebäudetechnik anzielt, muss daher beachtet werden, dass das ökonomische Optimum sich auch kurzfristig deutlich verschieben bzw. das Recycling auch von Geräten mit geringer Materialvielfalt unrentabel werden kann. Dies erschwert die Planung für Recyclinganlagen, da keine langfristig verlässliche Kalkulation der Gewinne möglich ist.

3.2.2.2 Recycling aus ökologischer Sicht

Analog zum ökonomischen Optimum gibt es beim Recycling eines Produkts auch ein ökologisches Optimum. Bei diesem ist der durch die Bereitstellung eines Rohstoffes durch das Recycling anstelle von Primärquellen entstehende Umweltnutzen maximal. Um es zu identifizieren, müssen für das jeweilige Altgerät und den rückzugewinnenden Rohstoff mittels Ökobilanzierung zunächst für verschiedene Rückgewinnungsgrade die Umweltbelastungen ermittelt werden. Diese werden als „ökologischer Aufwand“ bezeichnet. Für jede dieser Varianten wird er mit dem ökologischen Erlös verglichen. Dieser entspricht der Umweltbelastung, welche durch die Bereitstellung der gleichen Rohstoffmenge aus Primärquellen entstehen würde. Die jeweilige Differenz daraus ist der sogenannte ökologische Gewinn, d.h. die tatsächliche Einsparung an Umweltbelastung durch das Recycling. Quantifiziert werden können die vermiedenen oder erzeugten Umweltbelastungen beispielsweise mit sogenannten Umweltbelastungspunkten (UBP).

In Abbildung 3-4 ist qualitativ der Verlauf des ökologischen Aufwands und Erlöses nach (Bunge 2016) dargestellt. Die Abbildung ist repräsentativ für zu recycelnde Produkte, die aus verschiedenen Materialien zusammengesetzt sind. Der maximale ökologische Gewinn ist mit einem blauen Pfeil gekennzeichnet und liegt, wie oben erklärt, bei dem Rückgewinnungsgrad mit der größten Differenz zwischen Aufwand und Erlös.

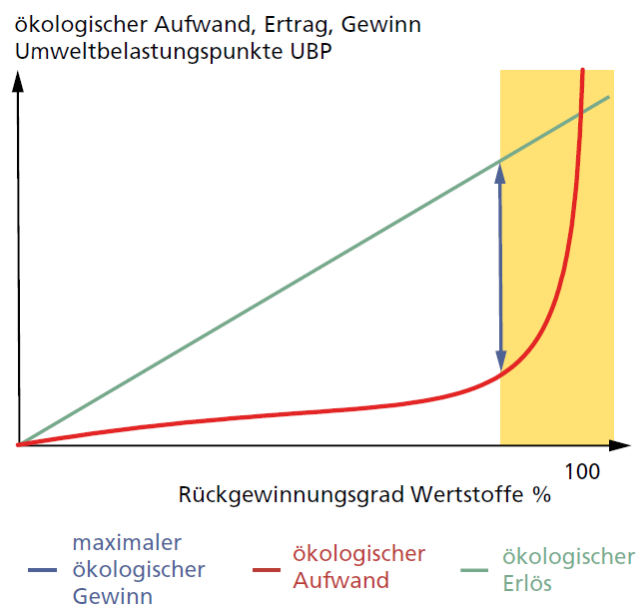


Abbildung 3-4: Ökologisches Optimum bei der Rohstoffrückgewinnung, Abbildung aus: (Bunge 2016).

Wie zuvor beim ökonomischen Erlös beobachtet, steigt der ökologische Erlös bei größer werdendem Rückgewinnungsgrad linear. Der ökologische Aufwand hingegen wächst zunächst nur gering, bei Erreichen eines gewissen Rückgewinnungsgrades jedoch exponentiell. Dies ist wiederum auf die größeren benötigten Mengen an Energie bzw. Chemikalien zurückzuführen, welche für die Herauslösung der mit wachsendem Rückgewinnungsgrad immer geringer werdenden Konzentration des rückzugewinnenden Rohstoffes notwendig wird. Ab einem bestimmten Punkt übersteigt die

Umweltbelastung des Recyclingprozesses schließlich die Umweltbelastung der Rohstoffbereitstellung aus Primärressourcen. Aus ökologischen Gründen sollte daher anstelle einer Erhöhung des Rückgewinnungsgrades die Förderung von Primärrohstoffen favorisiert werden (Hügi 2015).

Aus ökologischer Sicht ist eine Steigerung des Rückgewinnungsgrades jedoch bereits ab dem in der Abbildung gelb markierten Bereich nicht mehr wünschenswert, denn der ökologische Aufwand steigt im Verhältnis zum Erlös stark und kann an anderer Stelle gewinnbringender eingesetzt werden.

Auch beim ökologischen Optimum ist davon auszugehen, dass es variiert, wenn auch weniger kurzfristig als das ökonomische. Die Umweltbelastungen sowohl der Rückgewinnung als auch der Produktion aus Primärquellen sind von verschiedenen, mittelfristig veränderlichen Faktoren abhängig. Bei der Rückgewinnung spielt zum einen die verwendete Technologie, die dafür notwendigen chemischen Substanzen und Geräte sowie deren Energieeffizienz eine Rolle. Der verwendete Strommix bzw. verwendetes Brennmaterial beeinflusst die Umweltauswirkungen ebenfalls, besonders bei sehr energieintensiven Prozessen wie der Pyrolyse. Zum anderen sind auch die Umweltauswirkungen der Produktion aus Primärquellen abhängig von den dazu verwendeten Verfahren, Geräten, chemischen Substanzen und Energiequellen. Vor allem bei Massemetallen wie Stahl beeinflusst auch die Länge und Art des Transportweges zwischen Erzeugerland und Abnehmer des Rohstoffs die Umweltauswirkung. Das ökologische Optimum einer Komponente ist somit kein fester Wert, sondern von mittel- bis langfristig veränderlichen Faktoren abhängig.

4 Erstellung eines dynamischen Materialflussmodells

Für zukünftige Planungsprozesse ist es wichtig abzuschätzen, welche Arten und Mengen an Gebäudetechnik bzw. an darin gebundenen Rohstoffen im derzeitigen Gebäudebestand vorhanden sind und wann diese vermutlich freigesetzt werden. Zu diesem Zweck eignet sich ein sogenanntes dynamisches Materialflussmodell. Es modelliert für zukünftige Jahre die Gebäudetechnik- und Rohstofflager im Bestand sowie ihre Flüsse als Inputs, d.h. verbaute Mengen, sowie Outputs, welche wieder aus dem Bestand frei werden.

Nachfolgend in Kapitel 4.1 werden zunächst die Bestandteile und Zusammenhänge des im Rahmen dieser Dissertation entwickelten Modells erklärt. In Kapitel 4.2 wird schließlich erläutert, wie das Modell für verschiedene Arten der Gebäudetechnik erstellt werden kann und wie die ermittelten Daten zusammengeführt werden müssen, um die Abschätzung der zukünftigen Rohstoffflüsse und -lager zu erhalten. Dabei werden auch mögliche Hemmnisse bei der Datenerhebung aufgezählt sowie Handlungsempfehlungen für diese Fälle gegeben.

4.1 Struktur des dynamischen Materialflussmodells für Gebäudetechnik

Die entwickelte Struktur für das dynamische Materialflussmodell ist in Abbildung 4-1 dargestellt. Es besteht aus drei zu modellierenden Betrachtungsebenen: die der *Gebäude*, die der darin enthaltenen *Gebäudetechnik* sowie schließlich die der in der Gesamtheit ihrer Geräte enthaltenen *Rohstoffe*. Die Verknüpfung der Betrachtungsebenen geschieht durch Umrechnungsfaktoren. Durchgezogene Pfeile zeigen Flüsse an, während gestrichelte Pfeile eine Beeinflussung symbolisieren. Lager werden mit dem Buchstaben M gekennzeichnet, Inputs mit I sowie Outputs mit O. Die Betrachtungsebenen, ihre verschiedenen Elemente und deren Beziehungen untereinander werden in den Kapiteln 4.1.1 bis 4.1.3 näher erläutert.

Die vom Benutzer in das Modell einzugebenden Werte sind das Gebäudelager $M^{(G)}$, der Faktor Gebäudetechnikgehalt oder das Gebäudetechniklager $M^{(GT)}$, der Faktor Rohstoffgehalt sowie quantifizierte Werte aller für die betrachtete Gebäudetechnik relevanten Treiber.

Ein Ergebnis des Modells ist das Rohstofflager, das Informationen über die gebundenen Rohstoffe gibt. Dieses wird für jedes Jahr der modellierten Zeitdauer ersichtlich, sodass auch eine mögliche zeitliche Veränderung erkannt werden kann. Ein weiteres Ergebnis sind die Inputs und Outputs auf allen Ebenen, welche ebenfalls für jedes Jahr vorliegen. Diese geben Informationen über die Entwicklung des Gebäudebestands, die Menge der benötigten und der zu recycelnden oder ggf. wiederverwendbaren Geräte bzw. der in diesen enthaltenen Rohstoffen.

4.1.1 Betrachtungsebene Gebäude

Die Grundlage der Betrachtungsebene Gebäude ist das Gebäudelager $M^{(G)}$, welches dem Gebäudebestand der betrachteten Gebäudegruppe entspricht. Je nach gewählter Gebäudetechnikart kann dieser zum Beispiel in m^3 BRI, m^2 Mietfläche etc. angegeben werden. Die zeitlichen Veränderungen des Gebäudebestands werden durch den Gebäudeinput $I^{(G)}$ und den Gebäudeoutput $O^{(G)}$ dargestellt.

Der Treiber *Neubau* von Gebäuden führt zu einem Wachstum des Gebäudelagers, d.h. er trägt zum Gebäudeinput bei. Dabei wird Gebäudetechnik verbaut. Der *Abbruch* von Gebäuden hingegen erzeugt einen Beitrag zum Gebäudeoutput, d.h. das Gebäudelager wird verringert. Dabei wird Gebäudetechnik freigesetzt. Erweiterungen bzw. Verkleinerungen eines Bestandsgebäudes können ebenfalls als Neubau bzw. Abbruch betrachtet werden.

Diese beiden Treiber entsprechen im Prinzip den Treibern *Immobiliennachfrage* sowie *Nutzungsdauer*, die bereits im zugrundeliegenden dynamischen Materialflussmodells aus dem Projekt PRRIG bestehen, welches in Abbildung 1-1 auf Seite 8 dargestellt wurde (Technische Universität Darmstadt 2016).

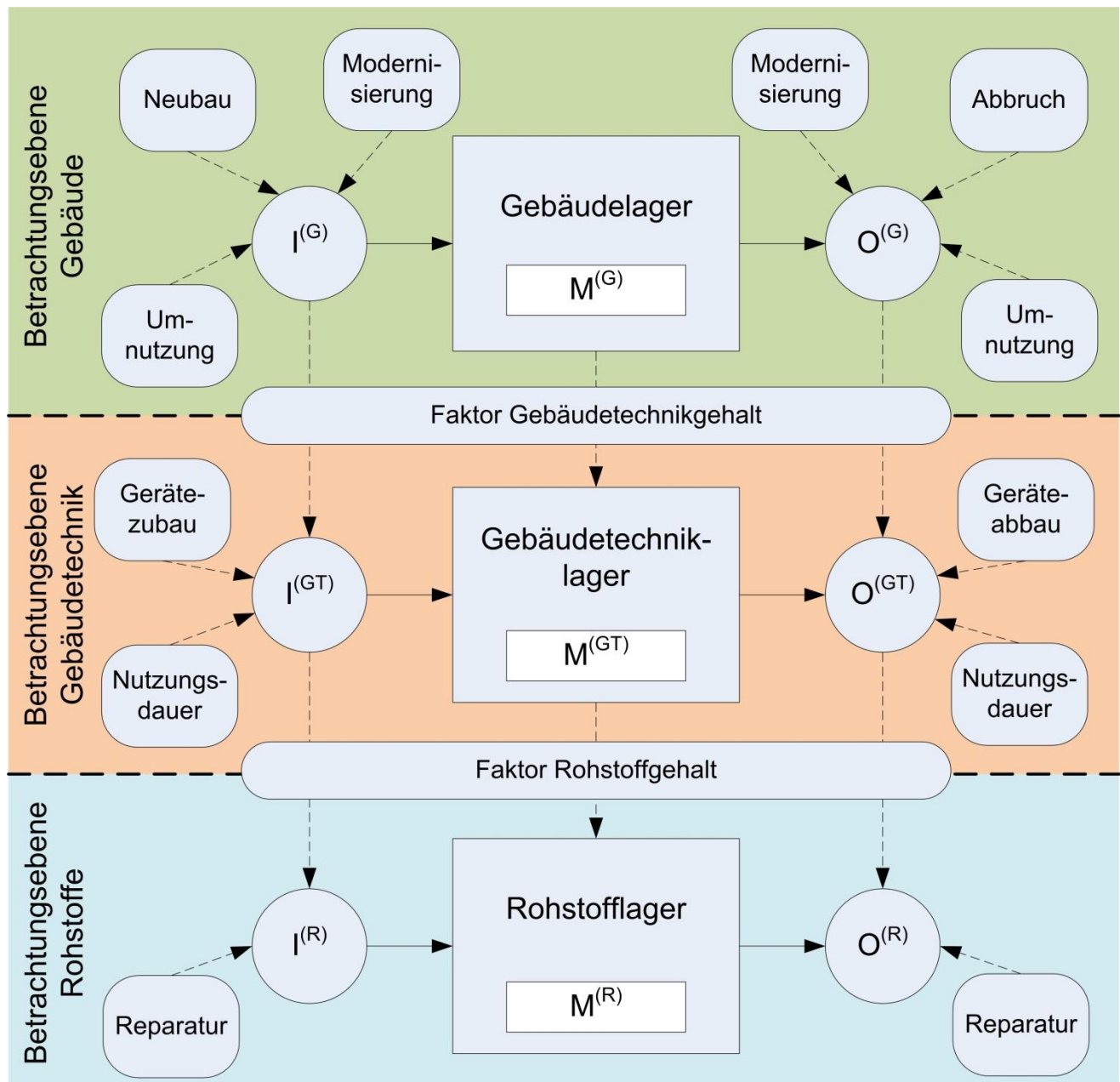


Abbildung 4-1: Struktur des dynamischen Materialflussmodells.

Legende: durchgezogene Pfeile = Flüsse, gestrichelte Pfeile = Zusammenhang/Beeinflussung, M = Lager, I = Input, O = Output, G = Gebäude, GT = Gebäudetechnik, R = Rohstoff.

Gebäudetechnik ist kein Teil der Gebäudegrundsubstanz. Daher können auch *Modernisierungen* sowie *Umnutzungen* der Gebäude Inputs bzw. Outputs von Gebäudetechnik erzeugen. Im Modell des Projekts PRRIG, welches sich eher auf die Gebäudegrundsubstanz konzentrierte, sind diese noch nicht als Treiber integriert, jedoch als weiterer Schritt des Modells empfohlen (Kapitel 1.2). Für ein auf Gebäudetechnik konkretisiertes Modell sind sie daher zu berücksichtigen.

Bei Modernisierungen werden Gebäude unter Beibehaltung ihrer Funktion teilweise oder vollständig renoviert bzw. saniert. Der Treiber *Modernisierungen* tritt dabei zugleich als Input und als Output auf: Das „alte“ Gebäude wird als Output angenommen, das modernisierte Gebäude stellt den Input dar. Somit ändert sich das Gebäudelager hinsichtlich seiner Größe nicht, wohl aber in der Zusammensetzung seiner Gebäudetechnik.

Umnutzungen bedeuten Veränderungen der Gebäudefunktion. Sie hängen von der Nachfrage nach spezifischen Immobilien ab. Besteht für eine bestimmte Funktion eine sehr hohe Nachfrage, so werden

aus ökonomischen Gründen teilweise weniger stark nachgefragte Gebäudetypen umgenutzt. Dies erfordert oft umfangreiche Umbaumaßnahmen, beispielsweise wenn ein Warenhaus zu einem Bürogebäude umgenutzt wird. Dabei ist es aufgrund der Änderung der Nutzeranforderungen wahrscheinlich, dass Gebäudetechnik in großem Maßstab hinzugefügt, entfernt oder ausgetauscht wird. Der Treiber *Umnutzungen* kann als Input oder als Output auftreten. Pro Gebäudeebene sollte jeweils nur ein Gebäudetyp betrachtet werden (siehe Kapitel 4.2.1). Werden darunter befindliche Gebäude umgenutzt zu einem Gebäudetyp, der im jeweiligen Modell nicht mehr betrachtet wird, zählt dies als Output, d.h. verringert das Gebäudelager. Im umgekehrten Fall können nicht betrachtete Gebäude durch Veränderung ihrer Funktion mittels Umnutzung Teil der betrachteten Gebäudegruppe werden, womit sie als Input zählen.

Die Betrachtungsebene *Gebäude* ist über den Umrechnungsfaktor *Gebäudetechnikgehalt* mit der Betrachtungsebene *Gebäudetechnik* verknüpft. Er gibt an, wie viel Gebäudetechnik pro Gebäude zu erwarten ist, d.h. er entspricht dem Erwartungswert oder Durchschnitt. Ein beispielhafter Wert dafür ist „0,45 Fahrtreppen pro 1.000 m² Mietfläche“. Anstelle eines Faktors kann auch eine Funktion verwendet werden, falls sich damit der Gebäudetechnikgehalt besser abschätzen lässt, zum Beispiel bei Fahrtreppen in Warenhäusern (siehe Kapitel 5.2.4).

4.1.2 Betrachtungsebene Gebäudetechnik

Durch Multiplikation des Gebäudelagers $M^{(G)}$ mit dem Faktor *Gebäudetechnikgehalt* lässt sich das Gebäudetechniklager $M^{(GT)}$ ermitteln. Es entspricht den im Gebäudebestand verbauten Geräten und verändert sich im Laufe der Zeit durch den Geräteinput $I^{(GT)}$ und den Geräteoutput $O^{(GT)}$. Um diese beiden zu ermitteln, wird zunächst der Input bzw. Output aus der Gebäudetechnikebene ebenfalls mithilfe des Faktors *Gebäudetechnikgehalt* umgerechnet. Dies entspricht jedoch noch nicht dem kompletten Input bzw. Output. Die explorative Aufnahme verschiedener Arten von Gebäudetechnik zeigte weitere Treiber, welche weitgehend unabhängig von allgemeinen baulichen Maßnahmen des Gebäudes sind. Diese machen auch die Betrachtungsebene *Gebäudetechnik* notwendig, welche im zugrundeliegenden dynamischen Materialflussmodell aus dem Projekt PRRIG nicht enthalten ist (Technische Universität Darmstadt 2016).

Einer dieser zusätzlichen Treiber ist der *Gerätezubau*. Dabei wird ein neues Gerät in ein Bestandsgebäude eingebaut, d.h. es handelt sich um eine Vergrößerung des Inputs. Dies kann zum Beispiel infolge von rechtlichen Vorschriften geschehen. So wurden beispielsweise im Laufe der Zeit in den Bauordnungen der Bundesländer Rauchwarnmelderpflichten mit Nachrüstpflicht für Bestandsgebäude eingeführt (Kapitel 3.1.1.1). Auch technische Neuerungen, d.h. die Verfügbarkeit eines neuen Typs von Gebäudetechnik, der im Baujahr des Gebäudes noch nicht existierte oder noch nicht sehr verbreitet war, kann dazu führen, dass in bestehende Gebäude Geräte zugebaut werden. Motivation dafür sind höherer Komfort oder bessere Wettbewerbsfähigkeit der Immobilie. Beispiele für solche Nachrüstungen sind Fahrtreppen, welche sich in Deutschland ab den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts durchsetzten und in bestehenden Warenhäusern nachgerüstet wurden, sowie Aufzüge, welche derzeit verstärkt in Bahnstationen nachgerüstet werden, um Barrierefreiheit zu gewährleisten. Derzeit ist in vielen Einkaufszentren auch Zubau neuartiger interaktiver Informationstafeln zu beobachten.

Den umgekehrten Fall stellt der Treiber *Geräteabbau* dar. Er erhöht die Outputs, indem Gebäudetechnik aus einem bestehenden Gebäude entfernt wird, ohne dass dabei eine generelle bauliche Maßnahme oder Umnutzung stattfindet. Dies ist eher selten zu beobachten, derzeit aber gerade beim Beispiel der Fahrtreppen zu erkennen. In verschiedenen Gebäudetypen, vor allem bei Bahnstationen, werden teilweise Fahrtreppen wieder demontiert und zugunsten von Barrierefreiheit und niedrigeren Betriebskosten durch Aufzüge ersetzt. Geräteabbau kann auch durch gesetzliche Vorschriften bestimmt werden, wenn geforderte Nachrüstungen den Austausch von Geräten oder Komponenten mit einer veralteten und nicht mehr sicherheitskonformen Technik erfordern, wie beispielsweise bei den in Kapitel 3.1.1.2 gezeigten Schmelzsicherungen.

Der Treiber *Nutzungsdauer* gibt schließlich an, wie lange ein Gerät genutzt wird, bis es durch ein neues ausgetauscht wird. Ein Grund für den Austausch ist beispielsweise das Ende der sogenannten technischen Lebensdauer. Diese gibt an, wie lange ein Gerät funktioniert und seinen Zweck erfüllen kann, ohne dass Kernkomponenten ausgetauscht werden müssen. Abhängig vom Nutzerverhalten kann das Gerät bereits vor Ende der technischen Lebensdauer ersetzt werden, zum Beispiel wenn ein moderneres Gerät gewünscht ist, das alte jedoch noch funktionstüchtig ist, oder wenn die Betriebskosten eines Neugeräts deutlich niedriger sind. In diesem Fall hat das Gerät das Ende seiner wirtschaftlichen Lebensdauer erreicht. Bei Gebäudetechnik ist der Austausch bedingt durch die Ein- und Ausbauarbeiten mit einem deutlich höheren Aufwand verbunden als bei mobilen Geräten wie Mobiltelefonen. Daher ist davon auszugehen, dass er in der Regel nur stattfindet, wenn das Gerät tatsächlich stark veraltet ist oder im Gebäude weitere Modernisierungsmaßnahmen durchgeführt werden. Durch den Treiber *Nutzungsdauer* wird sowohl der Output als auch der Input erhöht.

Der gesamte Input und Output an Geräten auf dieser Ebene stellt bereits ein Teilergebnis der Materialflussanalyse dar. Der Input entspricht einer Abschätzung der Nachfrage und ist daher für Gerätehersteller von Interesse. Der Output zeigt an, welche Anzahl an Altgeräten entstehen wird. Daraus kann mit einem geschätzten Anteil der noch funktionsfähigen Geräte das Potenzial für die Wiederverwendung von Gebäudetechnik abgeschätzt werden sowie die Anzahl zu recycelnder Geräte, welche die Verwerter einkalkulieren können.

4.1.3 Betrachtungsebene Rohstoffe

In der kleinräumigsten der drei Betrachtungsebenen werden schließlich die in allen Geräten aus der darüber liegenden Gebäudetechnikebene befindlichen Rohstoffe betrachtet. Das Rohstofflager $M^{(R)}$ sowie Rohstoffinput $I^{(R)}$ und Rohstoffoutput $O^{(R)}$ entwickeln sich zunächst analog der Ströme und des Lagers in der Gebäudetechnikebene. Für jeden betrachteten Rohstoff kann daher eine einfache Umrechnung mittels eines Faktors geschehen, der den Rohstoffgehalt je Einheit des betrachteten Geräts angibt, beispielsweise „163 g Kunststoff je Stück Rauchwarnmelder“. Die Information dazu kann aus Datenblättern zu den Geräten, durch Nachfrage beim Hersteller oder durch Demontage, Materialanalyse und Wiegen von Probergeräten gewonnen werden.

Tritt bei Gebäudetechnik ein Defekt auf, so werden vor allem bei größeren und hochwertigeren Geräten anstelle eines Komplettaustauschs nur die defekten Komponenten gewechselt. Bei einem defekten Aufzug muss möglicherweise nur der Motor oder ein Teil des Motors ausgetauscht werden, jedoch nicht die Kabine, Seile, Gegengewicht usw. Es ist dabei aufgrund der verschiedenen Rohstoffgehalte der unterschiedlichen Komponenten zweckmäßig, die auszutauschenden Komponenten direkt als Rohstoffmengen anzugeben. Dies wird als Treiber *Reparaturen* auf der Rohstoffebene berücksichtigt. Er vergrößert sowohl Rohstoffinput als auch -output.

Das Teilergebnis der Materialflussanalyse auf dieser Ebene sind Abschätzungen der Rohstoffinputs, welche für den Bedarf an neuer Gebäudetechnik notwendig sind, sowie der in Altgeräten gebundenen Rohstoffe, die prinzipiell für ein Recycling verfügbar werden. Zu beachten ist, dass sich dies jeweils nur auf die Mengen und Qualitäten der tatsächlich in den Geräten befindlichen Rohstoffe bezieht und nicht auf daraus technisch oder wirtschaftlich zurückgewinnbare bzw. für den gesamten Herstellungsprozess einschließlich Verschnitt etc. notwendige Mengen und Qualitäten.

4.1.4 Übersicht über die Treiber der drei Betrachtungsebenen

In Tabelle 4-1 werden die in den Kapiteln 4.1.1 bis 4.1.3 erläuterten Treiber des dynamischen Materialflussmodells zusammengefasst.

Tabelle 4-1: Übersicht über die Treiber des dynamischen Materialflussmodells

Name	Input/ Output	Bedeutung
Betrachtungsebene Gebäude		
Neubau	Input	Neubau von kompletten Gebäuden sowie Erweiterung von Bestandsgebäuden
Abbruch	Output	Abbruch von kompletten Gebäuden sowie Verkleinerung von Bestandsgebäuden
Modernisierungen	Input und/oder Output	Umfangreiche Sanierung, welche Ausbau vorhandener und/oder Einbau neuer Gebäudetechnik verursacht
Umnutzungen	Input oder Output	Änderung der Funktion eines Gebäudes (zum Beispiel Einkaufszentrum zu Bürogebäude), somit ggf. Input bzw. Output für den betrachteten Gebäudetyp.
Betrachtungsebene Gebäudetechnik		
Gerätezubau	Input	Einbau von zusätzlicher Gebäudetechnik in Bestandsgebäude ohne weitere bauliche Maßnahmen
Geräteabbau	Output	Ausbau von Gebäudetechnik aus Bestandsgebäuden ohne weitere bauliche Maßnahmen
Nutzungsdauer	Input und Output	Austausch von Gebäudetechnik nach Ablauf ihrer Nutzungsdauer
Betrachtungsebene Rohstoffe		
Reparatur	Input und Output	Austausch von einzelnen defekten Komponenten der Gebäudetechnik, welche zweckmäßig direkt als Rohstoffmengen betrachtet werden

4.2 Verwendung des Materialflussmodells für verschiedene Arten von Gebäudetechnik

Nachfolgend wird erläutert, wie das entwickelte dynamische Materialflussmodell für verschiedene Arten von Gebäudetechnik verwendet werden kann. Dazu müssen zunächst geeignete Gruppierungen von Gebäuden bzw. Gebäudetechnikarten und deren Einheiten festgelegt werden. Parallel dazu bzw. danach kann die Datenerhebung erfolgen, zu welcher in Kapitel 4.2.3 Hinweise gegeben werden. Weiterhin müssen die Umrechnungsfaktoren ermittelt werden, wonach schließlich die Berechnung des Modells erfolgen kann wie in Kapitel 4.2.4 erklärt.

4.2.1 Gruppierung der betrachteten Gebäude und Geräte

Um ein möglichst aussagekräftiges Modell zu erhalten, sollte in der Betrachtungsebene *Gebäude* jeweils nur eine Gruppe von Gebäuden betrachtet werden, in welcher annähernd gleiche Arten und Konzentrationen der zu betrachtenden Gebäudetechnik zu erwarten sind und für die die gleichen Annahmen bezüglich der Treiber getroffen werden können. Nachfolgend wird eine solche Gruppe als *Gebäudetyp* bezeichnet. Maßgebend für die Typisierung ist zunächst die Funktion des Gebäudes, weiterhin und ggf. in Untertypen zu berücksichtigen sind die Einflussfaktoren für das Vorhandensein von Gebäudetechnik, welche in Kapitel 3.1.1 aufgeführt wurden. Welche Kriterien dabei zu beachten bzw. verzichtbar sind, zeigt meist eine Analyse exemplarischer Aufnahmen der Gebäudetechnik in den jeweiligen Gebäuden. Das Alter der Geräte ist bei der Auswahl der Kriterien zur Typisierung der Gebäude nicht relevant. Es wird erst auf der Betrachtungsebene der Gebäudetechnik beachtet.

Bei der Anwendung des dynamischen Materialflussmodells für Fahrtreppen in Kapitel 5 zeigte sich beispielsweise, dass Fahrtreppengehalte und die zu bildenden Szenarien für die Treiber auf der Gebäudeebene gebäudetypspezifisch sind. Ebenfalls unterscheiden sie sich bei verschiedenen Untertypen von Einkaufszentren, weswegen dieser Gebäudetyp nochmals weiter in Gebäudeuntertypen differenziert wurde. Bezüglich des Baujahres eines Gebäudes wurden für die meisten Gebäudetypen keine statistisch signifikanten Veränderungen der Art bzw. Menge an Fahrtreppen bzw. Fahrsteigen

festgestellt, da die Fahrtreppen in älteren Gebäuden nachgerüstet wurden und sich von denen in jüngeren Gebäuden nicht merklich unterschieden.

Ebenso kann pro Ebene *Gebäudetechnik* nur eine Gruppe gleichartiger Gebäudetechnik betrachtet werden. Soll beispielsweise ein dynamisches Materialflussmodell für Fahrtreppen und Aufzüge im Gebäudetyp Warenhäuser erstellt werden, so sind zwei separate Betrachtungsebenen *Gebäudetechnik* notwendig. Beide Gerätearten benötigen unterschiedliche Annahmen für Treiber auf den Betrachtungsebenen *Gebäudetechnik* bzw. Rohstoffe sowie unterschiedliche Faktoren Gebäudetechnikgehalt und Rohstoffgehalt. Unterschiedliche, aber ähnliche Typen gleicher Art mit gleichen Annahmen für die Treiber können hingegen zusammengefasst werden; beispielsweise die in Kapitel 3.1.2.2 untersuchten Verteiler.

Weiterhin ist für jeden betrachteten Rohstoff eine separate Betrachtungsebene *Rohstoffe* notwendig. Sollen wie im vorangegangenen Beispiel der Fahrtreppen und Aufzüge aus Warenhäusern jeweils die Größen der Rohstoffflüsse bzw. -lager von Stahl, Glas und Aluminium ermittelt werden, so sind insgesamt eine Betrachtungsebene *Gebäude*, zwei Betrachtungsebenen *Gebäudetechnik* und sechs Betrachtungsebenen *Rohstoffe* zu modellieren, wie in Abbildung 4-2 gezeigt.

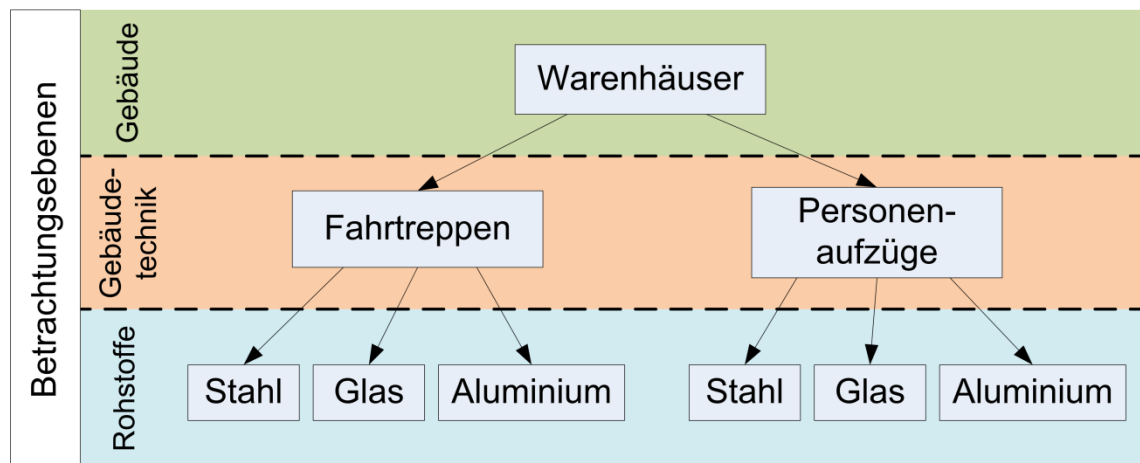


Abbildung 4-2: Notwendige Betrachtungsebenen für ein dynamisches Materialflussmodell zu Fahrtreppen und Personenaufzügen aus Warenhäusern, bei dem die Rohstoffe Stahl, Glas und Aluminium betrachtet werden.

Möglicherweise ist es zusätzlich sinnvoll, die Gebäudetechnik weiter nach ihrem Alter zu differenzieren. Um Materialkosten zu sparen und energieeffizientere Geräte zu fertigen, arbeiten Hersteller durchgängig an der Entwicklung leichterer Konstruktionen. So sind beispielsweise neu produzierte Fahrtreppen heute deutlich leichter als noch vor wenigen Dekaden. Dadurch unterscheiden sich Mengen und Zusammensetzungen verbauter Rohstoffe. Durch Gruppierung der Gebäudetechnik in Altersklassen können später verschiedene Faktoren für den Rohstoffgehalt verwendet werden, um eine genauere Abschätzung zu erhalten.

4.2.2 Auswahl geeigneter Einheiten

Abhängig von der zu untersuchenden Gebäudetechnik müssen Einheiten definiert werden, in denen die Lager und Flüsse auf den Betrachtungsebenen *Gebäude* und *Gebäudetechnik* ausgedrückt werden. Dabei muss besonders sorgfältig entschieden werden, denn die Aussagekraft des Modells ist wesentlich von der Sinnhaftigkeit der gewählten Einheit abhängig.

Zunächst sollte die Einheit zur Messung bzw. Zählung der Geräte definiert werden. Dabei sollte die Erreichbarkeit der Geräte während der Gebäudeaufnahme berücksichtigt werden. So ist zum Beispiel eine Gewichtsermittlung vor Ort in der Regel nicht möglich. Bei Einzelgeräten mit ungefähr gleicher Größe kann ihre Anzahl in Stück gezählt werden, dies eignet sich zum Beispiel für Rauchwarnmelder, Lichtschalter usw. sowie für die in Kapitel 5 untersuchten Fahrtreppen. Für Kabel, Rohre usw. ist die

Länge der einzelnen Stränge repräsentativer, ggf. unterteilt nach verschiedenen Durchmessern (siehe dazu auch Kapitel 4.2.3.2).

Ebenso sollten Einheiten möglicherweise vorhandener Unterlagen bzw. Literatur zu Rohstoffgehalten berücksichtigt werden. In diesem Fall ist die Verwendung derselben Einheit sinnvoll, um Rohstoffgehalte direkt übernehmen zu können. So wurde beispielsweise bereits ein Verhältnis der Leistung von Klimaanlage zu den enthaltenen Rohstoffen publiziert. Wenn die verbaute Gebäudetechnik nicht empirisch ermittelt, sondern beispielsweise aus Baunormen genähert hochgerechnet werden soll, wie in Kapitel 4.2.3 erläutert, so kann die in den Normen verwendete Einheit sinnvoll sein, sofern für sie auch ein Rohstoffgehalt ermittelbar ist. So kann beispielsweise die erforderliche Heizleistung für Wohnflächen rechnerisch bestimmt und als Einheit für Heizsysteme verwendet werden (Wellpott 1997).

Um Bezugseinheiten zu bestimmen muss analysiert werden, wie und wo die zu betrachtende Gebäudetechnik in einem Gebäude auftritt. Häufig zweckdienliche Bezugseinheiten sind wie folgt:

- **pro Gebäude:**
Bei Geräten, die eine bestimmte Anzahl je Gebäude aufweisen, kann die Anzahl der Einzelgebäude als Bezugseinheit verwendet werden. Beispiele dafür sind Hausanschlüsse und Klingeltafeln.
- **pro funktioneller Einheit eines Gebäudes:**
Einige Geräte sind abhängig von der Anzahl der Funktionseinheiten in einem Gebäude und können entsprechend angegeben werden. Beispielsweise sind Briefkästen oder Verteilerkästen abhängig von der Anzahl der Wohneinheiten und Anzeigetafeln einer Bahnstation von der Anzahl und Länge der Bahnsteige. Lichtschalter sind abhängig von der Zahl der Räume in einem Gebäude, wobei in Fluren oder Räumen mit mehreren Zugängen auch zusätzliche Lichtschalter verbaut sein können. An dieser Stelle empfiehlt es sich daher, nach Art des Raumes zu differenzieren, beispielsweise indem die Betrachtungsebene *Gebäude* in entsprechende Untertypen differenziert wird.
- **pro Fläche:**
Einige Arten der Gebäudetechnik sollen auch bestimmte Flächen mit ihrem Dienst versorgen und sind daher von diesen abhängig, beispielsweise Sprinkleranlagen, welche jeweils eine sogenannte Schutzfläche bestimmter Größe versorgen. Diese ist dabei wiederum abhängig von der Brandgefahrenklasse des jeweiligen Raumes, sodass auch hier eine Differenzierung notwendig ist (VdS CEA 4001).

Bei der Nutzung von Flächen als Bezugsgröße muss beachtet werden, dass es verschieden definierte Flächenarten gibt, beispielsweise die Grundfläche eines Gebäudes, die Geschossfläche, die tatsächliche Nutzfläche, vermietete Flächen, Flächen für bestimmte Funktionen wie Verkaufsflächen, Verkehrsflächen usw. Bei der Zusammenführung der Daten müssen sich alle Werte auf die gleiche Flächenart beziehen. In den meisten Fällen ist es relativ unkompliziert möglich, Flächenarten mittels Faktoren aus der Literatur aufeinander umzurechnen. So kann beispielsweise die Mietfläche eines Einkaufszentrums mit dem Faktor 0,9 auf die Verkaufsfläche innerhalb der Geschäfte umgerechnet werden (Hessert und Jenne 2014).

- **pro Außenfläche:**
Für beispielsweise Heizanlagen kann der Wärmebedarf abhängig von der Außenfläche eines Gebäudes sowie weiteren Faktoren für unter anderem Gebäudetyp, Region etc. überschlägig ermittelt werden (DIN EN 12831).

- **pro Nutzer:**

Sind in einem Gebäude beispielsweise Personenaufzüge vorhanden, so ist deren Anzahl, Fahrkorbgröße, Motorleistung, Dicke und Anzahl der Tragseile sowie Gegengewicht im Wesentlichen abhängig von der Anzahl der Nutzer bzw. davon, ob weitere Lasten wie beispielsweise Einkaufswagen transportiert werden sollen. So müssen Aufzüge in Wohngebäuden in den meisten Bundesländern für jeweils 20 Bewohner einen Platz im Fahrkorb vorsehen (Wellpott 1997). Die notwendige Tragseillänge ist jedoch auch von der Anzahl und Höhe der Ebenen abhängig. In diesem Fall kann eine durchschnittliche Gebäudehöhe verwendet werden, um die durchschnittliche Länge des Seils zu berechnen und sich im weiteren Verlauf nur noch auf die für die restlichen Aufzugkomponenten relevante Bezugsgröße zu beschränken.

- **pro Wand horizontal oder vertikal:**

Stromleitungen werden gemeinhin als sogenannte Rundleitungen entlang der Wände eines Raumes eingebaut. Dabei gibt es zwei verschiedene Varianten: in einer Höhe von 30 cm über dem Boden, d.h. auf Höhe der Steckdosen sowie 30 cm unterhalb der Decke (Wellpott 1997). Bei beiden Varianten muss zunächst eine Kabellänge entsprechend des Raumumfanges angenommen werden sowie eine Leitung mit Lichtauslass quer über die Decke. Hinzu kommen bei der ersten Variante Umläufe um Türen und bodentiefe Fenster sowie Abzweigungen zu Lichtschaltern. Diese können anhand von durchschnittlichen Höhen und Anzahl der Lichtschalter, Türen bzw. Fenster je Raum ermittelt und aufgeschlagen werden. Bei der zweiten Variante bestehen Abzweigungen zu Lichtschaltern und Steckdosen. Diese können ebenso über die durchschnittliche Höhe sowie Anzahl hinzugerechnet werden.

Frischwasser- und Abwasserleitungen werden innerhalb des Gebäudes üblicherweise in vertikalen Strängen verlegt (Wellpott 1997). Die Gesamtlänge der Leitungen ist daher von der Anzahl der Stränge und der Ebenenhöhe abhängig.

Auf der Betrachtungsebene *Gebäude* wird die zu nutzende Einheit bestimmt durch die in den zugrundeliegenden Bestandsdaten sowie den für die Erstellung der Szenarien herangezogenen Prognosen und Trends verwendete Einheit, beispielsweise m² Verkaufsfläche, m² Nutzfläche oder Anzahl der Einzelgebäude.

Entspricht die Bezugseinheit für die Gebäudetechnik nicht der Einheit der Betrachtungsebene *Gebäude*, so muss sie entsprechend umgerechnet werden. In diesem Falle sind Hilfsgrößen erforderlich, die schrittweise Bezüge zwischen sinnvollen Einheiten für die Betrachtungsebenen *Gebäude* und *Gebäudetechnik* herstellen. Diese können aus der Literatur recherchiert oder aus untersuchten Gebäuden empirisch ermittelt werden. Im Fall der Rohrstränge beispielsweise ist es zielführend, zunächst die durchschnittliche Anzahl der Strangabschnitte pro Gebäudeebene zu ermitteln. Dabei kann es sinnvoll sein, Gebäude nach Anzahl der Wohneinheiten je Ebene in Untertypen zu differenzieren. Man erhält einen Faktor wie beispielsweise „2,7 Strangabschnitte je 100 m² Nutzfläche“, mit welchem man dann die je Strang ermittelten Leitungslängen multiplizieren kann. Weitere Hilfsgrößen je nach Gerät und Gebäudetyp sind beispielsweise die durchschnittliche Nutzfläche pro Büroarbeitsplatz, die durchschnittliche Anzahl der Räume je Wohneinheit usw.

4.2.3 Ermittlung der Eingangsdaten

Als Eingangsdaten für das Materialflussmodell werden Werte für den Gebäudebestand, die Umrechnungsfaktoren Gebäudetechnikgehalt und Rohstoffgehalt sowie Daten zur Generierung von Annahmen bzw. Szenarien für alle Treiber benötigt. Die Treiber müssen zur Benutzung im Materialflussmodell quantifiziert sein, d.h. in Zahlenwerten vorliegen. Für die Sammlung bzw. Generierung dieser Daten bestehen verschiedene Möglichkeiten, die nachfolgend für alle Betrachtungsebenen erläutert werden.

4.2.3.1 Betrachtungsebene *Gebäude*

Daten zum Gebäudebestand sind je nach Größe der Untersuchungsregion sehr umfangreich. Es ist daher sinnvoll, zunächst zu überprüfen, ob bereits Erhebungen bestehen, auf welche zurückgegriffen werden kann. Je nach untersuchtem Gebäudetyp können dabei amtliche Statistiken genutzt werden, zum Beispiel aus dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) oder Daten des Statistischen Bundesamtes, beispielsweise für den Wohngebäudebestand (AdV 2017; Statistisches Bundesamt 2017). Bei diesen ist zu beachten, ob sie für die gewünschten Gebäudetypen bzw. -untertypen differenziert genug sind oder mit anderen, nicht in der Betrachtung gewünschten oder im Modell separat zu untersuchenden Gebäudetypen gemeinsam erfasst wurden. Einkaufszentren sowie Warenhäuser beispielsweise werden beim Statistischen Bundesamt im Signierschlüssel gemeinsam unter der Kategorie „723 – Einzelhandelsgebäude“ geführt, welche weiterhin Autohäuser, Supermärkte, Bestattungsinstitute und weitere beinhaltet (Statistisches Bundesamt 2008, 2014). Datensätze für differenziertere Gebäudetypen können möglicherweise über Verbände oder aus bestehenden Studien bezogen werden. Für die Einkaufszentren in Kapitel 5.3 wurde beispielsweise ein Datensatz des (EHI Retail Institute e.V. 2016b) verwendet sowie für die Warenhäuser in Kapitel 5.2 die Abhandlung (Hessert 2012).

Je nach gewünschter Eingrenzung des Untersuchungsgebiets muss ebenfalls auf die zur Verfügung stehenden Daten sowie deren Bezugsgebiet bzw. eine mögliche Differenzierung nach Standorten geachtet werden. Beim Beispiel der Fahrtreppen in Einkaufszentren beinhaltet der Datensatz des EHI Retail Institute den jeweiligen Standort der Gebäude, sodass diese auch für ein beliebig kleines Untersuchungsgebiet gefiltert werden können. Bei anderen Statistiken wie beispielsweise für die im Projekt PRRIG betrachteten Büro- und Lagerflächen ist nur der Gesamtgebäudebestand bzw. die Gesamtentwicklung für ein Bundesland verfügbar, welcher bzw. welche nicht auf Ebene der Landkreise und kreisfreien Städte detailliert wurde (Technische Universität Darmstadt 2016). Dies erschwert die Zusammenstellung einer einheitlichen Datenbasis für Projektregionen aus Teilen eines oder mehrerer Bundesländer, beispielsweise das Rhein-Main-Gebiet. Sofern möglich, sollte daher das Untersuchungsgebiet an das Bezugsgebiet der Daten angepasst werden. Ist dies nicht machbar, so muss eine Annahme getroffen werden, welche Anteile des Bezugsgebietes im Untersuchungsgebiet liegen.

Weiterhin ist zu beachten, dass die Daten verschiedener Quellen teilweise nicht einheitlich vorliegen. So werden beispielsweise in offiziellen Baustatistiken der Bundesländer verschiedene Einheiten verwendet wie m^2 BGF, m^2 NF oder m^3 BRI. Diese können über Umrechnungsfaktoren angeglichen werden. Sind diese in der Literatur nicht auffindbar, so können ausgehend von Beispielgebäuden, für welche die Daten in mehreren Einheiten bekannt sind, eigene Umrechnungsfaktoren erstellt werden.

Ein möglicherweise ausschließendes Kriterium sind Kosten für die benötigten Daten, welche im Rahmen der verfügbaren Mittel nicht zu leisten sind. Tritt dieser Fall ein, so kann lediglich versucht werden, vergleichbare Daten oder Annahmen aus anderen Quellen zu gewinnen.

Ist die Anzahl der zu untersuchenden Gebäude oder ihrer Betreiber bzw. Eigentümer gering wie beispielsweise bei Warenhäusern oder Bahnstationen, so kann der Gebäudebestand möglicherweise auch mittels Anfragen bei Betreibern bzw. Eigentümern oder durch Zusammenstellung recherchierter Daten der Einzelgebäude ermittelt werden. Auf diese Weise wurde auch der Gebäudebestand der Warenhäuser aus Kapitel 5.2 aktualisiert.

Bei der Datenbeschaffung für den Gebäudebestand sollte darauf geachtet werden, dass wenn möglich auch Angaben zu den Baujahren bzw. letzten für die betrachtete Gebäudetechnik relevanten Sanierungen enthalten sind. Diese können als Anhaltspunkte für die Erstellung der Szenarien der Treiber verwendet werden. Je nach betrachteter Gebäudetechnik sind möglicherweise auch weitere Informationen über den Gebäudebestand bedeutend. Beispielsweise ist für Fahrtreppen eine Angabe die Ebenenanzahl der Gebäude hilfreich, da einstöckige Gebäude in der Regel über keine Fahrtreppen verfügen und somit in der Berechnung nicht berücksichtigt werden.

Die Treiber auf der Gebäudeebene sind von verschiedenen zukünftigen Einflüssen abhängig. Daher kann es sinnvoll sein, statt einer einzelnen Prognose mehrere Szenarien zu entwickeln. Dies wurde im Rechenbeispiel für die Teilmodelle Warenhäuser sowie Einkaufszentren durchgeführt, da deren zukünftiger Entwicklung verschiedene mögliche Wege offenstehen. Für die weiteren Teilmodelle hingegen ist eine Unterscheidung nach Szenarien nicht notwendig, da die Entwicklung im Wesentlichen mit wenigen Unsicherheiten prognostiziert werden kann.

Szenarien sind hypothetische Zukunftsbilder, welche realistisch möglich sind (Götze 1993). Im Rahmen der Szenario-Technik wird üblicherweise jeweils ein Szenario für die positivste (Best-Case) sowie für die negativste (Worst-Case) realistisch mögliche Entwicklung generiert. Mit ihnen wird ein Bereich aufgespannt zwischen dem noch erreichbaren Wunschzustand und der schlechtesten möglichen Zukunftssituation. Da die Entwicklung beider Szenarien in einem Punkt beginnt und sich mit fortlaufender Zeit weiter voneinander entfernt, wird diese Methode auch als Szenario-Trichter bezeichnet (Retzmann 1996). Innerhalb dieses Trichters wird sich die tatsächliche zukünftige Entwicklung bewegen. Um sich ihr weiter anzunähern, wird häufig ein Trendszenario erstellt, welches von einer Weiterführung der gegenwärtigen Situation ausgeht und daher meist als wahrscheinlichstes Szenario angenommen wird (Retzmann 1996).

Um Prognosen bzw. Szenarien für die Treiber der Gebäudeebene zu erstellen, sollte zunächst die derzeitige und die Entwicklung der vergangenen Jahre betrachtet werden. Dazu eignen sich bestehende Erhebungen. Baufertigstellungsstatistiken geben Informationen über die Inputtreiber *Neubau*, *Modernisierung* sowie *Umnutzung*. Die Outputs *Abbrüche* und *Umnutzungen* sind in sogenannten Bauabgangsstatistiken erfasst. Amtliche Statistiken dazu sind beispielsweise über Forschungsdatenzentren des Bundes und der Länder verfügbar (Forschungsdatenzentren 2016a, 2016b). Um die zukünftige Situation bzw. mögliche Szenarien annehmen zu können, sind Prognosen oder Szenarien der Entwicklung der Rahmenbedingungen notwendig. Da jedes Gebäude einem bestimmten Zweck wie Wohnen, Einkaufen, Mobilität etc. dient, richtet sich die Nachfrage nach ihnen und somit auch die damit verbundene Bautätigkeit nach der Entwicklung des entsprechenden Sektors. Für Wohngebäude ist es daher sinnvoll, Prognosen zur Haushalts- und Bevölkerungsentwicklung im Untersuchungsgebiet zu berücksichtigen. Für Gewerbeimmobilien können Prognosen und Szenarien zur zukünftigen wirtschaftlichen Entwicklung der entsprechenden Branche, Kaufkraft der Kunden usw. herangezogen werden.

Hinsichtlich der *Modernisierungen* müssen nur solche betrachtet werden, die für die untersuchte Gebäudetechnik relevant sind. So ist beispielsweise eine Modernisierung in der lediglich Türen und Bodenbeläge ausgetauscht werden nicht relevant für elektrische Rollläden an Fenstern. Modernisierungen sind aufgrund neuer gesetzlicher Vorgaben, Subventionen oder sich durchsetzender neuer Technologien teilweise schlecht prognostizierbar. Beispielhaft dafür sind energetische Sanierungen verschiedener Gebäudetypen aufgrund von EU-Verordnungen bzw. -Richtlinien zu Heizungsanlagen und Subventionierungen der Solarwärme, sowie natürlich der extreme Zubau von Photovoltaikanlagen Mitte der 2000er Jahre infolge hoher Subventionen und gesteigerter Effizienz der Module (SHK Niedersachsen 2007; Bundesverband Solarwirtschaft e.V. 2015; Bundesregierung 2017). Daher ist es für kurz- und mittelfristige Zeiträume am sinnvollsten, solche Phänomene zunächst auszuklammern und stattdessen nur relativ regelmäßig auftretende Modernisierungen zu berücksichtigen, zu welchen Annahmen aus bisherigen Erfahrungen getroffen werden können. Dazu zählt beispielsweise, ob und nach wie vielen Jahren ein Einkaufszentrum entkernt bzw. saniert wird. Ermittelt sind diese beispielsweise durch Experteninterviews oder Umfragen bei Betreibern oder Eigentümern des untersuchten Gebäudetyps. Bereits bekannte zu erreichende Quoten, zum Beispiel die Ausstattung von Wohnungen mit Rauchwarnmeldern bis zu einem bestimmten Jahr, sowie konkrete Modernisierungspläne, beispielsweise eines Eigentümers mehrerer untersuchter Gebäude, können ebenfalls in die Szenarien aufgenommen werden. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass politische Ziele und teilweise auch gesetzlich vorgeschriebene Quoten nicht immer rechtzeitig vollständig erfüllt

werden und die von Gebäudeeigentümern angekündigten Modernisierungen möglicherweise in der Realität nicht oder nur in geringerem Maße durchgeführt werden.

4.2.3.2 Betrachtungsebene Gebäudetechnik und Faktor Gebäudetechnikgehalt

Um die notwendigen Eingangsdaten der Gebäudetechnikebene zu erhalten, bestehen mehrere Möglichkeiten von sogenannten Bottom-up- oder Top-down-Verfahren, welche auch kombiniert werden können. Es empfiehlt sich, bereits vor der Entscheidung für eine der nachfolgend erläuterten Methoden die Ermittlung der Eingangsdaten für die Betrachtungsebene *Rohstoffe* sowie den Faktor *Rohstoffgehalt* zu planen, da diese möglicherweise Daten benötigen, welche gemeinsam mit den für die Gebäudetechnikebene notwendigen Eingangsdaten erhoben bzw. recherchiert werden können.

Bei den Bottom-up-Verfahren wird von einzelnen Geräten durch eine Hochrechnung auf die Gesamtmenge geschlossen. Dazu bedient man sich des Gebäudebestands aus der darüber liegenden Betrachtungsebene sowie des Faktors *Gebäudetechnikgehalt*. Dieser stellt die Anzahl bzw. Menge eines durchschnittlichen Geräts pro Einheit des Gebäudebestands dar, beispielsweise „0,45 Fahrtreppen je 1.000 m² Mietfläche“.

Um den Gebäudetechnikgehalt zu ermitteln, bietet sich zunächst eine eigene Datenerhebung aus empirischen Untersuchungen von Beispielgebäuden an. Dies kann durch Begehung der Gebäude geschehen oder, im Fall äußerlich nicht sichtbarer Gebäudetechnik wie Unterputzkabel usw., mithilfe von Planunterlagen. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass die erforderlichen Daten direkt in der gewünschten Einheit aufgenommen werden können. Zudem werden dabei teilweise auch Besonderheiten der Geräte bemerkt wie Abhängigkeiten von weiteren Rahmenbedingungen oder regelmäßige Überdimensionierung gegenüber vorgegebenen bzw. empfohlenen Mindestangaben. Ein Nachteil der Methode ist, dass für repräsentative Daten eine hohe Anzahl Gebäude untersucht werden muss. Dies kann zum einen aufgrund der Untersuchung selbst, zum anderen aufgrund der Anfahrt bzw. Beschaffung der Unterlagen sehr zeitintensiv sein. Werden Planunterlagen genutzt, so muss außerdem beachtet werden, dass diese vor allem bei älteren Gebäuden aufgrund von beispielsweise nicht dokumentierten Umbauten und Reparaturmaßnahmen möglicherweise nicht mehr die real vorhandene Gebäudetechnik abbilden.

Auf die generelle Vorbereitung und Durchführung einer Gebäudeaufnahme wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen, sondern auf vorhandene Fachliteratur verwiesen.⁵ Zunächst muss die Menge der Gebäudetechnik im Gebäude entsprechend der gewählten Einheit erfasst werden, d.h. in Stück gezählt, in laufenden Metern gemessen usw. Weiterhin sollten bereits Abmessungen und möglicherweise weitere Charakteristika der Geräte aufgenommen werden, die später für die Erstellung eines durchschnittlichen Geräts zur Berechnung der Rohstoffgehalte benötigt werden (Kapitel 4.2.3.3).

Nach der Aufnahme erfolgt zunächst ein Vergleich der ermittelten Mengen bezogen auf die Einheit der Gebäude, d.h. beispielsweise die Anzahl der Fahrtreppen bezogen auf 1.000 m² Mietfläche für jedes untersuchte Einkaufszentrum. Unterscheiden sich die Werte sehr stark voneinander, so muss die gewählte Gruppeneinteilung des Gebäudetyps überprüft werden (siehe Kapitel 4.2.1). Gegebenenfalls ist es in diesem Fall sinnvoll, die Gebäude nochmals in separat zu betrachtende Untertypen aufzuteilen, beispielsweise anhand ihres Alters, einer speziellen Bauform etc., sodass innerhalb der Gruppen ähnlichere Werte erreicht werden. Eine konkrete maximale Standardabweichung als Orientierungswert besteht dazu nicht, da die Homogenität dieser Werte stark von der jeweils zu untersuchenden Gebäudetechnik abhängt.

Schließlich wird ein gewichteter Durchschnitt der Gebäudetechnikmenge je Gebäudeeinheit berechnet, ggf. pro Gebäudeuntertyp. Dazu kann einfach die Summe aller gemessenen Werte durch die Summe der Einheiten aller Gebäude der Aufnahme geteilt werden, d.h. beispielsweise die Gesamtmenge der

⁵ Beispielsweise (Technische Universität Darmstadt 2016, Rommel 1999).

gezählten Fahrtreppen durch die gesamte Verkaufsfläche der Warenhäuser aus der Aufnahme. Das Ergebnis ist der Faktor *Gebäudetechnikgehalt*, der durch Multiplikation mit dem Gebäudelager das Gebäudetechniklager ergibt. Alternativ kann auch eine Funktion verwendet werden. Im Teilmodell Warenhäuser des Berechnungsbeispiels zeigte sich, dass die Anzahl der Fahrtreppen gleichermaßen von der Verkaufsfläche als auch von der Anzahl der Ebenen abhängt. Daher wurde dort statt einem Faktor eine Funktion *Gebäudetechnikgehalt* verwendet, welche abhängig von diesen beiden Größen ist (siehe Kapitel 5.2.4).

Ein weniger aufwendiges Bottom-up-Verfahren ist möglich für Gebäudetechnik, deren Einbau in Normen oder Gesetzen geregelt ist oder für die Herstellerempfehlungen zur einzubauenden Menge vorliegen. Die Vorgabe bzw. Empfehlung kann dabei als Gebäudetechnikgehalt verwendet werden. Bei bindenden Vorgaben muss zunächst ermittelt werden, wann und wo für die entsprechende Gebäudetechnik welche Anforderungen gestellt wurden. Finden sich die Anforderungen beispielsweise in der Bauordnung, so können sie je nach Bundesland unterschiedlich und/oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingeführt worden sein. Zudem muss geprüft werden, ob Bestandsschutz vorliegt oder Nachrüstpflicht bestand, d.h. die zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Bestandsgebäude nachträglich an die Anforderungen angepasst werden mussten. Die Gebäude müssen daher entsprechend ihres Baujahres oder ggf. Sanierungszeitpunktes sowie ihres Standortes in Untertypen gruppiert werden. Wurden beispielsweise für Wohngebäude Aufzüge erst ab einem bestimmten Stockwerk und Baujahr in einem Bundesland verpflichtend, so kann für alle diese Wohngebäude das Vorhandensein mindestens eines Aufzuges angenommen werden. Ebenfalls kann beispielsweise auf Grundlage der (DIN 18015-2) eine durchschnittliche Größe von Verteilerkästen ermittelt werden oder, abhängig von Raumfunktionen und -größen, eine Anzahl der Steckdosen für alle nach dem Inkrafttreten gebauten oder sanierten Gebäude.

Bei Verwendung dieser Hochrechnungsmethode ist teils mit größeren Unsicherheiten zu rechnen als bei der empirischen Ermittlung. Herstellerempfehlungen konkurrieren bei der Planung auch mit optischen Aspekten, Wünschen des Bauherrn, den verfügbaren finanziellen Mitteln etc. Verbindliche Vorgaben hingegen lassen nur auf den Mindestgehalt an Gebäudetechnik schließen, während der tatsächliche Gehalt möglicherweise deutlich höher ist, um zusätzliche Sicherheit oder Komfort zu bieten (Kapitel 3.1.1.2). Möglicherweise kann der Gebäudetechnikgehalt durch weitere Recherche und Annahmen angepasst werden. Im vorangegangenen Beispiel der Aufzüge kann beispielsweise bei Aufzugsherstellern und bei Eigentümern großer Wohnimmobilienbestände erfragt werden, ab welcher Anzahl Wohneinheiten oder bei welchem Anteil der Gebäude ein zweiter Aufzug zu erwarten ist. Ebenfalls kann anhand von empirischen Ermittlungen geringeren Umfangs ein ungefährender Wert dafür ermittelt werden.

Die Hochrechnung nach dieser Methode bietet sich vor allem an, wenn keine wesentlichen Abweichungen des realen Gebäudetechnikgehalts von der Vorgabe zu erwarten sind. Dies ist beispielsweise bei Sprinkleranlagen der Fall, da die geforderte Menge je Nutzfläche dem entspricht, was für eine sichere Nutzung sinnvoll und angemessen ist. Weitere Geräte bringen keinen nennenswerten Vorteil mehr hinsichtlich des Brandschutzes, sodass davon ausgegangen werden kann, dass ihr Einbau sehr unwahrscheinlich ist. Außerdem ist diese Methode hilfreich, um eine Hochrechnung aus empirischen Daten zu validieren oder falls nur eine grobe Abschätzung benötigt wird bzw. aufgrund der verfügbaren Mittel möglich ist.

In einigen Fällen kann alternativ zum genannten Bottom-up-Ansatz ein Top-down-Ansatz genutzt werden. Dabei wird der vorhandene Gebäudetechnikbestand direkt erfragt statt hochgerechnet. Dies ist zum Beispiel möglich, wenn die untersuchten Geräte an einer zentralen Stelle registriert werden wie Heizanlagen, oder wenn für einen Gebäudetyp nur einer oder wenige Eigentümer bzw. Betreiber bestehen. So kann beispielsweise ein ÖPNV-Betreiber Auskunft über die in seinen Bahnstationen befindliche Gebäudetechnik geben. Auch Verbände verfügen oftmals bereits über eigene Hochrechnungen oder Erhebungen des Gebäudetechnikbestands. Beispielsweise gibt der vdma 35.000 Fahrtreppen in Deutschland an (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. 2014).

Für bestimmte Nichtwohngebäude können jedoch Informationen über Gebäudetechnik sowie Zugang zu bestimmten Bereichen eingeschränkt sein. Im Rahmen dieser Arbeit war dies beispielsweise bei internen Bereichen von Warenhäusern bzw. Einkaufszentren der Fall. Gebäudetechnik wie Personen- oder Lastenaufzüge konnten weder über direkte Anfrage noch vor Ort oder aus Plänen ermittelt werden. Bei offiziellen Anfragen des Bundeslandes oder des Bundes kann jedoch damit gerechnet werden, dass dem Anliegen eine höhere Beachtung zuteilwird und andere Berechtigungen erteilt werden. Dies zeigt beispielsweise die beantwortete Anfrage des Abgeordnetenhauses Berlin an die BVG, während eine ähnliche Anfrage im Rahmen dieser Arbeit abgewiesen wurde mit der Begründung, es handle sich um sensible Daten (Abgeordnetenhaus Berlin 2014a, 2014b; BVG Kundenservice 2017).

Wird der Top-down-Ansatz verwendet und ist auf der Betrachtungsebene *Gebäude* mit einem Input und/oder Output zu rechnen, so wird dennoch ein Gebäudetechnikgehalt benötigt, um diese auf die Betrachtungsebene *Gebäudetechnik* umzurechnen. Er lässt sich durch Division des Gebäudetechniklagers durch das Gebäudelager rückermitteln.

Die Genauigkeit des Top-down-Ansatzes ist wesentlich von der Aktualität des Datensatzes bzw. der Güte der bestehenden Hochrechnung abhängig. Für Gebäudetechnik mit Registrierpflicht oder regelmäßiger Wartung bzw. Abnahme wie beispielsweise Heizanlagen kann jedoch erwartet werden, dass die Erhebungen verhältnismäßig aktuell und vollständig sind. Der Top-down-Ansatz bietet sich auch an, um mittels Bottom-up-Methoden erstellte Hochrechnungen zu validieren.

Zur Erstellung von Prognosen für den Treiber *Nutzungsdauer* auf der Gebäudetechnikebene kann zunächst die technische Lebensdauer der Geräte bzw. ihrer Komponenten bei den Herstellern erfragt werden. Möglicherweise ist die tatsächliche Nutzungsdauer jedoch kürzer, weil die Geräte zwar noch funktionieren, jedoch als technisch veraltet bzw. optisch nicht mehr modern gelten oder weil neue gesetzliche Vorgaben aus Sicherheitsgründen eine Erneuerung vorschreiben (siehe Kapitel 3.1.2). Eine Abschätzung der bisherigen Nutzungsdauer der Geräte kann durch Befragung der Nutzer bzw. Betreiber der Gebäude nach Erfahrungswerten erfolgen. Gesetzliche Vorgaben lassen sich hingegen schlecht prognostizieren, da sie meist durch plötzlich auftretende Phänomene angestoßen werden, wie es bereits hinsichtlich der Modernisierungen von Gebäuden erläutert wurde. Als „Startpunkt“, ab welchem die Nutzungsdauer beginnt, ist zudem das Jahr der Inbetriebnahme notwendig. Es kann unter anderem mit dem möglicherweise auf einem Typenschild vermerkten Einbaujahr oder bei relativ jungen Gebäuden mit dem Eröffnungsjahr gleichgesetzt werden. Werden Top-down-Daten für die Gebäudeebene genutzt, so ist idealerweise zusätzlich eine Auflistung der Einbaujahre und anderer Charakteristika der individuellen Geräte verfügbar. Wurde nur ein Gesamtwert für das Gebäudelager gegeben, so kann möglicherweise der Betreiber oder Eigentümer Abschätzungen machen, wie viel Prozent des Bestands aus bestimmten Altersklassen stammt.

Die schlechte Prognostizierbarkeit trifft auch auf die Treiber *Zubau* bzw. *Abbau* zu, welche zum Gebäudebestand nachträglich hinzugefügte oder entfernte Geräte beinhalten. Konkretere Abschätzungen in diesem Bereich sind beispielsweise möglich, wenn bereits Ziele oder Fristen bestehen, beispielsweise bis wann eine Rauchwarnmelderpflicht in Wohngebäuden umgesetzt sein muss oder bis wann ein ÖPNV-Betreiber eine bestimmte Anzahl seiner Bahnhöfe mit Aufzugsanlagen nachrüsten lassen will.

Hinsichtlich der Detaillierung der Daten auf der Gebäudetechnikebene sollte das Verhältnis zur Genauigkeit der Daten anderer Betrachtungsebenen berücksichtigt werden. Gegenüber den Annahmen und Rundungenungenauigkeiten beim Gebäudebestand bzw. seiner Entwicklung sowie bei den Rohstoffgehalten hat beispielsweise ein Rauchwarnmelder mehr oder weniger pro 1.000 m² Nutzfläche eine vergleichsweise geringe Auswirkung auf das Ergebnis der Abschätzung durch das Materialflussmodell (Kapitel 5.8.4). Da eine starke Detaillierung auf der Gebäudetechnikebene sehr schnell erhöhten Arbeitsaufwand nach sich zieht, sollte an dieser Stelle auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Aufwand und tatsächlich gewinnbarem informativem Nutzen geachtet werden.

4.2.3.3 Betrachtungsebene *Rohstoffe* und Faktor *Rohstoffgehalt*

Zunächst muss geklärt werden, für welche Rohstoffe Flüsse und Lager abgeschätzt werden sollen. Je nach untersuchter Gebäudetechnik kann die Rohstoffvielfalt sehr hoch sein, vor allem wenn auch die in elektronischen Komponenten verbauten Rohstoffe mitberücksichtigt werden. Gerade bei diesen ist es derzeit aufgrund der sowohl zwischen den Gerätetypen als auch innerhalb eines Typs über die Zeit stark variierenden Rohstoffgehalte nahezu unmöglich, von der Betrachtungsebene *Gebäudetechnik* auf *Rohstoffe* umzurechnen (siehe Kapitel 3.1.3). Zudem werden in der Praxis auch viele Rohstoffe komplett oder teilweise nicht zurückgewonnen, da dies derzeit unwirtschaftlich ist. Hintergründe dazu wurden bereits in Kapitel 3.2.2.1 ausführlich behandelt. Es ist daher ratsam, diejenigen Rohstoffe auszuwählen, für die ein repräsentativer Rohstoffgehalt bestimmt werden kann. Soll die Materialflussanalyse für die Entwicklung von praktischen Maßnahmen oder zur Planung der zukünftigen Dimensionierung von Recyclinganlagen dienen, so sollte sich zudem auf die dort tatsächlich wirtschaftlich rückgewinnbaren Rohstoffe beschränkt werden.

Sind die Zielrohstoffe bekannt, so wird der jeweilige Rohstoffgehalt des Geräts benötigt. Sehr genaue Gehalte können zeiteffizient aus Herstellerinformationen gewonnen oder bei Herstellern und Verwertern erfragt werden. Diese reagieren jedoch mitunter sehr sensibel, da sie befürchten, dass dadurch Rückschlüsse auf betriebsinternes Know-how oder Materialkosten bzw. Schrottwert gezogen werden können (siehe Kapitel 5.1.4). Als Lösung bietet sich die Generierung eigener Rohstoffkennwerte mittels Demontage und rohstofflicher Analyse von Referenzgeräten an. Aufwand und Kosten dazu variieren je nach betrachteter Gebäudetechnik und gewünschter Genauigkeit. Sind verfügbare Zeit und Sachmittel wie im Rahmen dieser Arbeit nicht ausreichend für diese Maßnahme, so können Annahmen zum Rohstoffgehalt beispielsweise aus typischen Abmessungen und wahrscheinlichen Materialien getroffen werden. Dies erhöht jedoch die Unsicherheiten des Modells. Bei beiden Varianten sollte das Verhältnis zwischen dem Aufwand der Datenerhebung und dem tatsächlichen Nutzen der erzielbaren Genauigkeit abgewogen werden.

Im Regelfall liegt nicht nur ein einzelner Gerätetyp vor, sondern verschiedene, aber grundsätzlich ähnliche Typen wie beispielsweise Geräte verschiedener Größen und Hersteller oder aus unterschiedlichen Materialien wie die in Tabelle 3-2 auf Seite 16 aufgeführten Türen von Verteilern. Diese Geräte haben in der Realität unterschiedliche Rohstoffgehalte, doch eine Differenzierung in verschiedene Gerätetypen im Modell würde zu einem unverhältnismäßig großen Aufwand für Datenerhebung und Berechnung führen. Daher wird ein gemeinsamer, durchschnittlicher Rohstoffgehalt ermittelt, der möglichst repräsentativ für alle Gerätetypen der betrachteten Art ist. Dazu muss zunächst ein fiktives „durchschnittliches Gerät“ generiert werden. Benötigt wird hierzu aus den Gebäudeaufnahmen eine Erhebung der jeweiligen Charakteristika, in denen sich die verschiedenen Typen unterscheiden.

Durchschnittliche Abmessungen werden ermittelt wie für das Beispiel der Fahrtreppen unter anderem in Kapitel 5.3.6 detailliert gezeigt. Anschließend wird überprüft, auf welche Geräteabmessungen sich der ermittelte Rohstoffgehalt bezieht, sodass dieser entsprechend auf die Abmessungen des durchschnittlichen Geräts skaliert werden kann. Sind verschiedene Hersteller vorhanden, so kann ein nach Anteilen an der Gesamtmenge der aufgenommenen Gebäudetechnik gewichteter durchschnittlicher Rohstoffgehalt generiert werden. Das fiktive durchschnittliche Gerät wurde somit zu verschiedenen Anteilen von mehreren Herstellern produziert. Analog dazu können auch Anteile bestimmter Einbaujahre oder bestimmter verwendeter Materialien wie bei den Verteilern in Kapitel 3.1.2.2 berechnet und mit unterschiedlichen Rohstoffgehalten versehen werden.

Kann kein durchschnittliches Gerät generiert werden, weil beispielsweise zu viele Typen existieren und dadurch sowohl Abschätzung als auch Datensammlung deutlich erschwert würden oder weil keine empirische Erhebung durchgeführt werden kann, so kann stattdessen auch der Rohstoffgehalt eines Geräts verwendet werden, welches als durchschnittlich oder besonders typisch für die Geräteart identifiziert wurde. Beispiele für Geräte, bei denen diese Annahme sinnvoll ist, sind Steckdosen und Lichtschalter, Sprinkler usw.

Um schließlich Prognosen für den Treiber *Reparaturen* zu erstellen, müssen durchschnittliche Reparaturintervalle sowie dafür typischerweise benötigte Rohstoffe angenommen werden. Dazu können beispielsweise Dienstleister für Wartung und Reparatur befragt oder Dokumente wie Reparaturrechnungen analysiert werden. Um in der späteren Berechnung den „Startpunkt“ der Reparaturzyklen festzulegen, werden wiederum die bereits in der Betrachtungsebene *Gebäude* benötigten Einbaujahre der Gebäudetechnik benötigt.

4.2.4 Berechnung der zukünftigen Materialflüsse und Lager

Wurden alle erforderlichen Eingangsdaten ermittelt und die Treiber-Szenarien quantifiziert, so können die zukünftigen Materialflüsse und Lager der drei Betrachtungsebenen mithilfe des Modells in einer Schätzrechnung ermittelt werden.

Die Vorgehensweise dazu wird in Tabelle 4-2 gezeigt. Die Spalten stehen für die fortlaufenden Jahre, wobei das Jahr i das Basisjahr darstellt. Im Rahmen dieser Arbeit beziehen sich die Angaben der Lager der drei Betrachtungsebenen jeweils auf das Ende eines Jahres, d.h. die Berechnung beginnt mit dem 31. Dezember des Basisjahrs i , wobei für das Jahr i selbst keine Inputs und Outputs mehr betrachtet werden. Für die folgenden Jahre sind in den Spalten jeweils die Inputs und Outputs innerhalb des gesamten Jahres angegeben sowie die Lager zum Ende des Jahres.

Für die Berechnung wird zunächst das Gebäudelager $M^{(G)}_i$ im Basisjahr i eingetragen, sowie die Lager auf Gebäudetechnikenebene und Rohstoffebene mittels der Faktoren *Gebäudetechnikgehalt* (in der Tabelle abgekürzt mit *Faktor GT*) bzw. *Rohstoffe (Faktor R)* berechnet. Danach werden für jedes Jahr die Inputs und Outputs durch Treiber aufgelistet. Sie werden je Betrachtungsebene zu den Inputs $I^{(\text{Betrachtungsebene})}$ bzw. den Outputs $O^{(\text{Betrachtungsebene})}$ summiert. Das Lager einer Betrachtungsebene eines Jahres ergibt sich dann aus Addition des jeweiligen Inputs zu und Subtraktion des Outputs von dem Lager des Vorjahres.

Tabelle 4-2: Berechnung der zukünftigen Materialflüsse und Lager mittels des dynamischen Materialflussmodells

Gebäudeebene				
Input $I^{(G)}$				
Jahr:	i	$i+1$	...	$i+n$
Neubau und Erweiterungen		Neubau $_{i+1}$	...	Neubau $_{i+n}$
Modernisierungen		Modernisierung $_{i+1}$	...	Modernisierung $_{i+n}$
Inputs durch Umnutzung		Input Umnutzung $_{i+1}$	...	Input Umnutzung $_{i+n}$
Input gesamt		$I^{(G)}_{i+1} = \sum \text{Inputs}^{(G)} \text{ in } i+1$	...	$I^{(G)}_{i+n} = \sum \text{Inputs}^{(G)} \text{ in } i+n$
Output $O^{(G)}$				
Jahr:	i	$i+1$	...	$i+n$
Abbruch und Verkleinerungen		Abbruch $_{i+1}$	...	Abbruch $_{i+n}$
Modernisierungen		Modernisierung $_{i+1}$	...	Modernisierung $_{i+n}$
Outputs durch Umnutzung		Output Umnutzung $_{i+1}$	...	Output Umnutzung $_{i+n}$
Output gesamt		$O^{(G)}_{i+1} = \sum \text{Outputs}^{(G)} \text{ in } i+1$	...	$O^{(G)}_{i+n} = \sum \text{Outputs}^{(G)} \text{ in } i+n$
Gebäudelager $M^{(G)}$				
Jahr:	i	$i+1$	...	$i+n$
Lager gesamt	$M^{(G)}_i$	$M^{(G)}_{i+1} = M^{(G)}_i + I^{(G)}_{i+1} - O^{(G)}_{i+1}$	...	$M^{(G)}_{i+n} = M^{(G)}_{i+n-1} + I^{(G)}_{i+n} - O^{(G)}_{i+n}$

Gebäudetechnikenebene

Input $I^{(GT)}$

Jahr:	i	i+1	...	i+n
aus Gebäudeebene		$= I^{(G)}_{i+1} \cdot \text{Faktor GT}$	...	$= I^{(G)}_{i+n} \cdot \text{Faktor GT}$
Gerätezubau		Gerätezubau _{i+1}	...	Gerätezubau _{i+n}
Neugeräte nach Nutzungsende		Neugeräte _{i+1}	...	Neugeräte _{i+n}
Input gesamt		$I^{(GT)}_{i+1} = \sum \text{Inputs}^{(GT)} \text{ in } i+1$	...	$I^{(GT)}_{i+n} = \sum \text{Inputs}^{(GT)} \text{ in } i+n$

Output $O^{(GT)}$

Jahr:	i	i+1	...	i+n
aus Gebäudeebene		$= O^{(G)}_{i+1} \cdot \text{Faktor GT}$	...	$= O^{(G)}_{i+n} \cdot \text{Faktor GT}$
Geräteabbau		Geräteabbau _{i+1}	...	Geräteabbau _{i+n}
Ausbau nach Nutzungsende		Ausbau _{i+1}	...	Ausbau _{i+n}
Output gesamt		$O^{(GT)}_{i+1} = \sum \text{Outputs}^{(GT)} \text{ in } i+1$	...	$O^{(GT)}_{i+n} = \sum \text{Outputs}^{(GT)} \text{ in } i+n$

Gebäudetechniklager $M^{(GT)}$

Jahr:	i	i+1	...	i+n
Lager gesamt	$M^{(GT)}_i = M^{(G)}_i \cdot \text{Faktor GT}$	$M^{(GT)}_{i+1} = M^{(GT)}_i + I^{(GT)}_{i+1} - O^{(GT)}_{i+1}$	...	$M^{(GT)}_{i+n} = M^{(GT)}_{i+n-1} + I^{(GT)}_{i+n} - O^{(GT)}_{i+n}$

Rohstoffebene

Input $I^{(R)}$

Jahr:	i	i+1	...	i+n
aus Gebäudetechnikenebene		$= I^{(GT)}_{i+1} \cdot \text{Faktor R}$	...	$= I^{(GT)}_{i+n} \cdot \text{Faktor R}$
Input für Reparatur		Input Reparatur _{i+1}	...	Input Reparatur _{i+n}
Input gesamt		$I^{(R)}_{i+1} = \sum \text{Inputs}^{(R)} \text{ in } i+1$	...	$I^{(R)}_{i+n} = \sum \text{Inputs}^{(R)} \text{ in } i+n$

Output $O^{(R)}$

Jahr:	i	i+1	...	i+n
aus Gebäudetechnikenebene		$= O^{(GT)}_{i+1} \cdot \text{Faktor R}$	...	$= O^{(GT)}_{i+n} \cdot \text{Faktor R}$
Output durch Reparatur		Output Reparatur _{i+1}	...	Output Reparatur _{i+n}
Output gesamt		$O^{(R)}_{i+1} = \sum \text{Outputs}^{(R)} \text{ in } i+1$	...	$O^{(R)}_{i+n} = \sum \text{Outputs}^{(R)} \text{ in } i+n$

Gebäudetechniklager $M^{(R)}$

Jahr:	i	i+1	...	i+n
Lager gesamt	$M^{(R)}_i = M^{(GT)}_i \cdot \text{Faktor R}$	$M^{(R)}_{i+1} = M^{(R)}_i + I^{(R)}_{i+1} - O^{(R)}_{i+1}$	...	$M^{(R)}_{i+n} = M^{(R)}_{i+n-1} + I^{(R)}_{i+n} - O^{(R)}_{i+n}$

Wurden mehrere Teilmodelle für verschiedene Gebäudetypen oder Gebäudetechnikarten erstellt, so können im Anschluss an die Schätzrechnung die Flüsse und Lager der Rohstoffebenen eines jeweils gleichen Rohstoffes addiert werden, um die Gesamtflüsse bzw. -lager des Rohstoffes zu erfahren.

5 Verwendung des dynamischen Materialflussmodells am Beispiel Fahrtreppen

Um die Funktionsweise des Materialflussmodells an einem praktischen Beispiel zu erläutern und die derzeitigen Informationslücken im Bereich der Prospektion zu verringern, wird eine Berechnung der Fahrtreppen in Deutschland durchgeführt. Im Alltagsgebrauch als „Rolltreppen“ bezeichnet, dienen Fahrtreppen als Beförderungsmittel für Personen zur Überwindung von Höhendistanzen innerhalb und außerhalb von Gebäuden. Nach (DIN 276-4) werden sie den Förderanlagen zugeordnet.

Das Beispiel Fahrtreppen wurde aus verschiedenen Gründen gewählt. Ihre Verteilung lässt diverse Möglichkeiten für die Gewinnung von Daten oder die Annahme von Schätzwerten zu, weshalb mehrere Anwendungsweisen des dynamischen Materialflussmodells gezeigt werden können. Zudem enthalten sie große Mengen an metallischen Rohstoffen, für welche ein Recycling bereits beim derzeitigen Stand der Technik und bei derzeitigen Rohstoffpreisen wirtschaftlich möglich und für Recyclingunternehmen relevant ist. Ebenfalls sind in ihnen elektronische Bauteile zu erwarten, welche aus ressourcenpolitischer Sicht interessante Seltene Erden und kritische Rohstoffe enthalten. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Rohstoffe Stahl (dazu gezählt auch Edelstahl), Aluminium sowie Kupfer berechnet (Kapitel 5.1.4).

Fahrtreppen sind in verschiedenen Gebäudetypen verortet. Die im Modell betrachteten Gebäudetypen wurden danach ausgewählt, ob sie einen wahrscheinlichen Einsatzort für Fahrtreppen darstellen (Kapitel 5.1.1). Je nach Gebäudetyp bestehen unterschiedliche Anforderungen, beispielsweise zu Anzahl, Widerstand gegen Witterungsverhältnisse, zu überwindende Höhenunterschiede, Betriebsdauer usw. Dies führt zu unterschiedlichen durchschnittlichen Fahrtreppengehalten, Abmessungen, Nutzungsdauern, Reparaturintervallen und Rohstoffgehalten. Aufgrund der verschiedenen Funktionen der Gebäudetypen ist zudem mit unterschiedlichen Entwicklungen auf der Gebäudeebene zu rechnen. Daher wird für jeden Gebäudetyp ein separates Teilmodell erstellt.

Je nach Teilmodell eignen sich andere Vorgehensweisen für die Generierung der Eingangsdaten. Für Warenhäuser und Einkaufszentren wird der Gebäudetechnikgehalt aus empirischen Untersuchungen gewonnen und der Gesamtbestand des jeweiligen Gebäudetyps in Deutschland mit einem Bottom-up-Verfahren hochgerechnet. Für Bahnstationen ist weder Gebäudeebene noch Gebäudetechnikgehalt notwendig, da in diesem Fall die Anzahl der Fahrtreppen über Top-down-Informationen direkt ermittelt werden kann. Für Verkehrsflughäfen sowie Messen wurden ebenfalls Top-down-Informationen angefragt, jedoch nicht von allen Betreibern geliefert. Die Gebäudetechnikgehalte werden daher aus erhaltenen Top-down-Informationen generiert und die Gesamtbestände hochgerechnet. Im Teilmodell für weitere Einzelhandelsgeschäfte wird analog der Vorgehensweise bei Warenhäusern und Einkaufszentren für einen weiteren Teil der Handelsimmobilien verfahren. Der Großteil der in diesem sowie in weiteren, nicht genannten Gebäudetypen verorteten Fahrtreppen kann jedoch nicht über Hochrechnungen ermittelt werden, da das Vorhandensein von Fahrtreppen darin keiner erkennbaren Regelmäßigkeit unterliegt. Daher wird ein Top-down-Wert aller in Deutschland verbauten Fahrtreppen herangezogen und mit den in den Teilmodellen ermittelten Teilbeständen abgeglichen. Für die Differenz werden ausgehend von den Erkenntnissen der Teilmodelle Szenarien zur weiteren Entwicklung erstellt. Diese werden dann mit allen Teilmodellen aufsummiert.

Als Basisjahr für das Modell wurde 2016 gewählt, die Daten repräsentieren den Status quo zum 31.12.2016. Dies ist der zum Zeitpunkt der Erstellung aktuellste Zeitpunkt, der noch die Verwendung von Jahresberichten für die Gebäudebestände zulässt. Da Daten aus zahlreichen Quellen zusammenfließen, ist es jedoch nicht möglich, für jede Quelle den exakt gleichen Stichtag zu verwenden. Daher werden auch ältere bzw. jüngere Daten als Annahme für 2016 verwendet, sofern diese repräsentativ erscheinen. Das Materialflussmodell deckt den Zeitraum bis einschließlich 2040 ab, d.h. 25 Jahre. Dieser Zeitraum ist kurz genug, um realistische Annahmen zur Entwicklung des Gebäudebestands zuzulassen, jedoch lang genug, um das Nutzungsende des Großteils der derzeit verbauten Fahrtreppen abzubilden.

Wiederverwendung ausgebauter Fahrtreppen ist prinzipiell möglich. So wurden beispielsweise Fahrtreppen einer geschlossenen Filiale der Warenhauskette Kaufhof beim Neubau eines Einkaufszentrums wiederverwendet (inSüdthüringen 2007). Sie findet jedoch nur selten statt, da der Aufwand der Umrüstung auf den aktuellen Stand der Technik in der Regel zu hoch ist (Schlicht 2017). Zudem muss dazu der neue Einbauort passend sein für die Abmessungen der Fahrtreppe. Es wird daher im Materialflussmodell davon ausgegangen, dass die Wiederverwendung einen nicht zu berücksichtigenden Sonderfall darstellt.

Nachfolgend werden in Kapitel 5.1 zunächst grundlegende Eigenschaften von Fahrtreppen erläutert, welche für alle Teilmodelle relevant sind, sowie die Vorgehensweise bei der empirischen Datenermittlung. Anschließend erfolgt in den Kapiteln 5.2 bis 5.7 die Berechnung der einzelnen Teilmodelle, welche in Kapitel 5.8 zusammengeführt und mittels Annahmen basierend auf einer Top-down-Bestandsschätzung vervollständigt sowie analysiert werden.

5.1 Allgemeine Untersuchung von Fahrtreppen

In diesem Kapitel werden grundlegende Eigenschaften der Fahrtreppen erläutert, welche für das weitere Verständnis der Beispielrechnung notwendig sind. Diese Eigenschaften begründen unter anderem die Auswahl der untersuchten Gebäudetypen, die Planung von Fahrtreppen, bauliche Maßnahmen daran sowie in ihnen zu erwartende Rohstoffe. Weiterhin wird die Methode zur Datenaufnahme bei Fahrtreppen erklärt. Diese umfasst die Ermittlung des Gebäudetechnikgehalts und der Abmessungen der Fahrtreppen zur Berechnung einer durchschnittlichen Fahrtreppe für den jeweiligen Gebäudetyp.

5.1.1 Einsatzort

Fahrtreppen werden hauptsächlich an Orten eingesetzt, in denen ein erhöhter Durchgangsverkehr von Personen stattfindet. Sie ordnen und beschleunigen diesen Durchgangsverkehr und dienen gleichzeitig als Entlastung der Aufzüge, da sie auch von Personen mit Gepäck oder leichteren Gehbehinderungen genutzt werden können. Ihre Haupteinsatzorte sind daher Bereiche mit hohem Personenaufkommen wie größere Handelsimmobilien, Bahnstationen, Flughäfen und Messen. In Einzelhandelsimmobilien wie beispielsweise Einkaufszentren erhöhen sie zudem im Vergleich zu Treppen oder Aufzügen die Motivation, höher gelegene Ebenen zu besuchen. Somit sind sie für die Frequentierung der dortigen Geschäfte essenziell.

Teils sind Fahrtreppen auch an anderen Orten vorzufinden, beispielsweise in verhältnismäßig kleinen Geschäften wie in Abbildung 5-1 oder auch an Fußgängerüberführungen bzw. -unterführungen wie in Abbildung 5-2 gezeigt. Die Anzahl solcher Fahrtreppen ist empirisch kaum ermittelbar, da ihr Vorhandensein auf keine Gesetz- oder Regelmäßigkeiten zurückzuführen ist.



Abbildung 5-1: Fahrtreppe in einem Einzelhandelsgeschäft mit verhältnismäßig kleiner Verkaufsfläche.



Abbildung 5-2: Fahrtreppe an einer Fußgängerüberführung.

5.1.2 Genereller Aufbau

Die hinsichtlich ihrer Masse relevantesten Komponenten typischer Fahrtreppen sind in Abbildung 5-3 dargestellt.

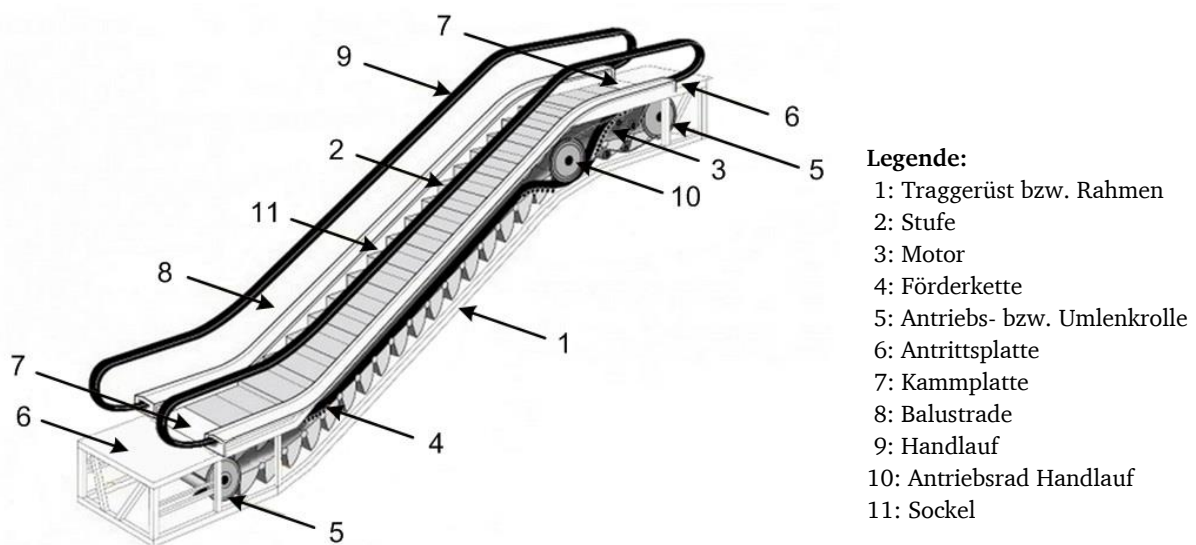


Abbildung 5-3: Basiskomponenten einer Fahrtreppe. Angepasst nach (Jeil Escalator 2017).

Fahrtreppen werden von einem Traggerüst bzw. Rahmen (1 in der Abbildung) aus Profilstahl getragen (Unger 2013). Seine Konstruktion und Abmessungen sind abhängig vom Gesamtgewicht der Fahrtreppe. Die einzelnen Stufen (2) können aus Aluminium oder Stahl bestehen (Unger 2013). Die Stufen werden vom Motor (3) mittels seitlicher Förderketten (4) fortbewegt. Diese werden über Schienen geführt und an den beiden Enden der Fahrtreppe über eine Antriebs- bzw. Umlenkrolle (5) geleitet. In den Antrittsbereichen einer Fahrtreppe überbrücken Antrittsplatten (6) sowie Kammplatten (7) die Umlenkrollen. Sie können aus Aluminium, Edelstahl oder im Falle der Kammplatten auch Kunststoff bestehen (Unger 2013; Schindler Deutschland AG & Co. KG 2017b). Weiterhin besitzen Fahrtreppen eine Balustrade (8) aus beispielsweise Glas, Edelstahl oder lackiertem Metallblech, auf welcher ein Handlauf (9) aus Gummi und anderen Materialien aufliegt (Unger 2013). Dieser wird ebenfalls mithilfe eines Antriebsrades (10) fortbewegt. Zwischen Stufen und Balustrade befindet sich ein Sockel, welcher aus Edelstahl oder Aluminium bestehen kann (11) (Schindler Deutschland AG & Co. KG 2017b). Für Fahrtreppen mit einsehbarer Unterseite ist zusätzlich eine Außenverkleidung notwendig. Sie umschließt die inneren Komponenten der Fahrtreppe. Für sie bestehen zahlreiche Gestaltungsmöglichkeiten. Bei den Aufnahmen wurden beispielsweise Edelstahl, verputzter Trockenbau, Holzpaneele sowie Glas mit integrierten Beleuchtungselementen vorgefunden.

5.1.3 Reparatur und Nutzungsdauer

Bei Defekt oder hohem Alter müssen Fahrtreppen nicht zwangsläufig vollständig ausgetauscht werden. Häufig reicht es, wenn defekte Teile ersetzt werden oder die Fahrtreppe modernisiert wird. Dazu können einzelne Komponenten erneuert werden, beispielsweise der Handlauf, die Antriebskette oder einzelne bzw. alle Stufen. Annahmen zum durchschnittlichen Zeitpunkt einer Reparatur bzw. Modernisierung werden für jedes Teilmodell separat getroffen.

Ein Austausch von Fahrtreppen kann aus verschiedenen Gründen notwendig werden. Veralterte Fahrtreppen sind vor allem ein Kostenfaktor, da sie häufiger gewartet und repariert werden müssen. Je älter die Fahrtreppe ist, desto schwieriger wird es, Ersatzteile zu finden (Rhein-Zeitung 2011). Sind diese beim Hersteller nicht mehr vorrätig oder existiert der Hersteller nicht mehr, so müssen sie speziell angefertigt werden. Dies bedeutet sowohl lange Ausfallzeiten als auch hohe Reparaturkosten (Tagesspiegel 2004; Berliner Woche 2013; Wendel 2017). Veralterte Fahrtreppen benötigen im Betrieb zudem deutlich mehr Energie als neuere, leichter konstruierte Fabrikate (Wiesbadener Kurier 2013). Auf die Kunden wirken sie aufgrund ihrer Optik veraltet und unattraktiv. Negativ fallen außerdem die

laute Akustik und das ungleichmäßige Fahrgefühl auf. Außerdem müssen Fahrtreppen aus Sicherheitsgründen regelmäßig überprüft und für den weiteren Betrieb genehmigt werden. Wird keine Genehmigung mehr erteilt, so muss die Fahrtreppe ebenfalls ausgetauscht oder zumindest modernisiert werden.

Zudem sind Aus- und Einbau der Fahrtreppen vor allem innerhalb von Gebäuden sehr aufwendig, sodass es lohnenswert ist, weitere vorhandene Fahrtreppen ähnlichen Alters im gleichen Zuge auszutauschen. In der Regel wird daher ein Austausch ab einem bestimmten Alter einer Fahrtreppe aus wirtschaftlichen Gründen durchgeführt, selbst wenn das Gerät noch funktionsfähig oder reparabel ist.

5.1.4 Untersuchte Rohstoffe und Rohstoffgehalte

Für die Ermittlung der Rohstoffgehalte von Fahrtreppen bestand im Rahmen dieser Arbeit ein großes Hindernis darin, dass sowohl seitens der Hersteller als auch der Verwerter Angaben zur Menge der verbauten bzw. der rückgewinnbaren Rohstoffe als hochsensibel betrachtet werden, denn durch sie lassen sich Rückschlüsse auf Materialkosten, Konstruktionsarten sowie durch Recycling erzielbare Erträge ziehen. Es wurde eine Anfrage mit der Bitte um Werte an die sechs Hersteller mit dem größten Anteil an Fahrtreppen in den Gebäudeaufnahmen sowie an 12 Verwerter gesendet. Dabei wurde zugesichert, dass die individuellen Daten streng vertraulich behandelt werden und lediglich ein durchschnittlicher Rohstoffkennwert in der Dissertationsschrift verwendet wird, welcher keine Rückschlüsse auf einen bestimmten Hersteller bzw. Verwerter zulässt. Dennoch wurden nur von einem Hersteller Rohstoffgehalte herausgegeben, was die Nutzung eines Durchschnittswertes ausschließt.

Eine weitere Möglichkeit der Ermittlung von Rohstoffkennwerten ist die Demontage und Analyse eines als typisch erachteten Geräts bzw. einer Stichprobe von Geräten. Aufgrund der Kosten einer Fahrtreppe bzw. deren Anlieferung war dies im Rahmen dieser Arbeit nicht durchführbar. Um zumindest eine Abschätzung der Rohstoffgehalte zu erhalten, wurden daher ausgehend von Produktkatalogen die Dimensionen der Komponenten einer typischen Fahrtreppe abgeschätzt sowie deren typisches Material recherchiert. Dazu wurden die in (Xu 2014) entwickelten Näherungsformeln verwendet. Da die Abmessungen der Fahrtreppen verschiedener Hersteller bei gleicher Förderhöhe und Steigung nur in der Größenordnung weniger Zentimeter voneinander abweichen, ist keine Unterscheidung nach Herstellern notwendig (Xu 2014). Da die durchschnittlichen Fahrtreppen unterschiedlicher Gebäudetypen verschieden sind, findet eine separate Ermittlung je Teilmodell statt.

Betrachtet werden zunächst die Rohstoffe Stahl bzw. Edelstahl (im Folgenden nur noch als „Stahl“ zusammengefasst) sowie Aluminium, da diese den Großteil der Masse darstellen und mit dem genannten Verfahren angenähert berechnet werden können sowie weil diese bereits derzeit besonders wirtschaftlich rückgewinnbar sind.

Bezüglich der Stahlsorten und Legierungen konnten ebenfalls keine Informationen seitens der Hersteller oder Verwerter gewonnen werden. Das Register europäischer Stähle umfasst derzeit mehr als 2.000 verschiedene Stahlsorten, von denen eine Vielzahl für den Einsatz in Fahrtreppen denkbar ist (StahlDatSX PRO 2018). Daher wird im Rahmen dieser Untersuchung keine Differenzierung in mögliche Stahlsorten vorgenommen. Hinsichtlich der Aluminiumlegierungen wird von Gusslegierungen für die jeweiligen Ansprüche der Komponenten ausgegangen. So ist beispielsweise für Fahrtreppenstufen aus Aluminium die Legierung EN-AC-ALSi12(Fe)/Al-230 sinnvoll, da sie gute Korrosionseigenschaften aufweist und bei dünnwandigen Konstruktionen eingesetzt werden kann, um Gewicht einzusparen (Friedrich 2013). Um beim späteren Recycling Qualitätsverluste zu vermeiden, müssen Stahl- und Aluminiumschrott nach ihren jeweiligen Legierungsgruppen, d.h. nach den in der Legierung vorhandenen Elementen getrennt werden. Eine Übersicht über Sortiertechnologien bei Stahlschrott bietet (Yellishetty et al. 2011). Die Sortierung von Aluminiumlegierungen ist beispielsweise mit einem Lasersortiersystem möglich (BVSE 2016). Es ist daher davon auszugehen, dass die Outputs von sowohl Stahl als auch Aluminium aus Fahrtreppen problemlos in den Stahl- bzw. Aluminiumkreislauf integrierbar sind.

Im Materialflussmodell berücksichtigt werden für Stahl sowie Aluminium die hinsichtlich ihrer Masse relevanten Komponenten Traggerüst, Stufen, Förderkette der Stufen sowie Laufschienen, Antrittsplatten und Antriebs- bzw. Umlenkräder. Die Außenverkleidung wird nicht betrachtet, da ihr Vorhandensein sowie die darin verbauten Rohstoffe individuell vom Design des Gebäudes und der baulichen Anordnung der Fahrtreppen abhängig sind.

Hersteller von Fahrtreppen arbeiten aufgrund der großen Rohstoffmengen und des Energieverbrauchs ihrer Produkte kontinuierlich daran, die Geräte leichter und somit unter anderem ressourcensparender und energieeffizienter zu gestalten. Dadurch verändert sich der durchschnittliche Rohstoffgehalt der Fahrtreppen über die Zeit. Beispielsweise sind Fahrtreppen aus dem Einbaujahr 2011 trotz größerer Abmessungen nur rund halb so schwer wie 45 Jahre zuvor (Rhein-Zeitung 2011). Könnten die Rohstoffgehalte aus Angaben von Herstellern bzw. Verwertern gemittelt oder aus Geräteanalysen erstellt werden, so sollten dabei verschiedene Einbaujahre differenziert betrachtet werden. Für die Stufen der Fahrtreppen wird aus optischen Eindrücken der Aufnahmen angenommen, dass modernere Stufen in der Regel aus Aluminiumdruckguss bestehen, die Stufen älterer Fahrtreppen hingegen eher aus Stahl. Es wird annähernd geschätzt, dass bis einschließlich 1980 alle Stufen aus Stahl bestanden, zwischen 1981 und 1990 für die Hälfte der Fahrtreppen aus Stahl und für die andere Hälfte aus Aluminiumdruckguss und für Fahrtreppen nach 1991 ausschließlich aus Aluminiumdruckguss. Antrittsplatten werden derzeit sowohl aus Aluminiumdruckguss als auch aus Edelstahl angeboten (Schindler Deutschland AG & Co. KG 2017b). Es wird angenommen, dass die Antrittsplatten aus Aluminiumdruckguss sich ebenfalls erst ab 1981 durchzusetzen begannen. Für 1981 bis 1990 wird ein Anteil von 25% angenommen, ab 1990 ein Anteil von 50%. Es ist davon auszugehen, dass auch die weiteren Komponenten wie beispielsweise das Traggerüst zunehmend weniger Masse aufweisen. Dies kann durch Nutzung anderer Rohstoffe sowie durch Verwendung materialsparender Konstruktionsarten erreicht werden. Für detailliert nach Einbaujahr differenzierte Rohstoffgehalte liegen jedoch nicht genügend Daten bzw. Hinweise für Annahmen vor. In Anbetracht der Tatsache, dass die Rohstoffgehalte ohnehin lediglich überschlägig ermittelt werden können, werden daher lediglich die genannten drei unterschiedlichen Altersklassen für die in den Stufen und Antrittsplatten verbauten Rohstoffe berücksichtigt.

Weiterhin kann beim Rohstoffgehalt nach dem Standort der Fahrtreppen differenziert werden. Für den Einsatz in Überführungen, Eingängen zu Bahnstationen etc. werden sogenannte Verkehrsfahrtreppen eingesetzt. Sie sind Witterungseinflüssen und größerer Behandlung ausgesetzt als sogenannte Kaufhausfahrtreppen, die beispielsweise in Warenhäusern und Einkaufszentren genutzt werden. Daher benötigen sie entsprechend widerstandsfähige Komponenten, was sich unter anderem auch in den verwendeten Rohstoffen widerspiegelt (WAZ 2015; Unger 2013). Es wird angenommen, dass Verkehrsfahrtreppen bei gleichen Geräteabmessungen in den berücksichtigten Komponenten 30% mehr Masse besitzen.

Zusätzlich wird eine Abschätzung der Kupfermengen in verbauten, rückgebauten sowie im Bestand befindlichen Fahrtreppen erstellt. Fahrtreppen benötigen einen Elektromotor mit gleichbleibender Drehzahl, da sie sich in einer gleichbleibenden Geschwindigkeit bewegen. Das sanfte Anfahren bzw. Stoppen wird mit einem sogenannten Spannungswandler ermöglicht (ISR University of Coimbra 2010; Binder 2012). Anhand dieser Anforderungen ist davon auszugehen, dass im Elektromotor eine Kupferspule verwendet wird, die mittels Stromdurchfluss ein Magnetfeld erzeugt.⁶

⁶ Vereinzelt sprechen Quellen vom Einsatz von Motoren mit Permanentmagneten in Aufzügen und Fahrtreppen (u.a. Zepf 2015). Diese könnten beispielsweise Neodym oder Cobalt enthalten. Sie sind jedoch deutlich teurer und bieten im Anwendungsfall Fahrtreppen keinen Mehrwert (siehe u.a. (ISR University of Coimbra 2010; Bast et al. 2014) für Anwendungsgebiete von Elektromotoren mit Permanentmagneten). Zudem ist auffällig, dass detaillierte Studien in diesem Bereich lediglich Permanentmagneten in Aufzügen untersuchen, nicht jedoch in Fahrtreppen (u.a. ISR University of Coimbra 2010). Es wird daher davon ausgegangen, dass mit „Aufzüge und Fahrtreppen“ lediglich die Branche gemeint wird, in Fahrtreppenmotoren hingegen nicht mit Permanentmagneten zu rechnen ist.

Fahrtreppenmotoren müssen je nach Förderhöhe und Länge eine Leistung um 8 kW erbringen (Kadewe 2016; Detail 2017). Es ist davon auszugehen, dass diese und damit auch der Kupfergehalt des Motors aufgrund der zunehmend energieeffizienteren Konstruktion von Fahrtreppen ebenfalls abhängig vom Baujahr ist. Für eine Differenzierung in Altersklassen fehlen jedoch Informationen zu tatsächlichen Motorleistungen sowie der Verhältnismäßigkeit zum Kupfergehalt. Vereinfachend wird daher ein durchschnittlicher Kupfergehalt für alle Fahrtreppen angenommen. Ausgehend von Motorleistung und unter Berücksichtigung eines Zuschlags für Kupferkabel wird eine Kupfermenge in der Größenordnung von 50 bis 60 kg je Fahrtreppe angenommen. Dies erscheint im Vergleich mit von einem Hersteller kommunizierten Kupfergehalten als realistischer Wert. Für die Berechnung wird ein geschätzter Mittelwert von 55 kg Kupfer je Fahrtreppe verwendet.

Die Berechnung der Kupfermengen steht stellvertretend für die Rohstoffermittlung von Materialien, die in eher geringeren Konzentrationen auftreten. Dies können je nach betrachteter Gebäudetechnik und Datengrundlage auch in elektronischen Bauteilen befindliche, strategisch wichtige Rohstoffe oder Seltene Erden wie beispielsweise Neodym sein.

5.1.5 Durchführung der Datenerhebung bei Fahrtreppen

Die Anzahl der Fahrtreppen wurde je nach Gebäudetyp mit einem Bottom-up- oder Top-down-Ansatz ermittelt. Für Warenhäuser und Einkaufszentren wurden stichprobenweise die Fahrtreppen in mehreren Filialen vor Ort gezählt und durch Bezug auf die Verkaufsflächen hochgerechnet. Für Bahnstationen hingegen ist die Anzahl der Betreiber in Deutschland sehr begrenzt. Diese haben zudem in der Regel einen Überblick über die in ihren Bahnstationen vorhandenen Fahrtreppen. Daher konnten sie direkt angeschrieben und um Top-down-Werte für die Fahrtreppenzahl gebeten werden, bzw. die Anzahl durch Literaturrecherche ermittelt werden.

Für die Ermittlung der notwendigen Daten bezüglich der Eigenschaften der Fahrtreppen wurde ein Bottom-up-Ansatz mit empirischer Ermittlung von Daten aus Gebäudeaufnahmen gewählt. Dabei wurden Material und Höhe der Brüstung sowie falls erkennbar Hersteller und Baujahr erfasst. Breite und Höhe der Stufen wurden abgemessen. Bei den Breiten traten die drei Standardwerte 60 cm, 80 cm sowie 100 cm auf. Die Höhe beträgt bei einer Steigung von 30° ca. 20 cm, bei einer Steigung von 35° ca. 23 cm. Dies sind die beiden üblichen Steigungen für Fahrtreppen in Deutschland (Schindler Deutschland AG & Co. KG 2017a).

Für die Ermittlung der Förderhöhe sind je nach Randbedingungen verschiedene Methoden möglich. Besteht neben der Fahrtreppe noch eine Treppe, so kann dafür deren Stufenhöhe gemessen und mit der Anzahl der Treppenstufen multipliziert werden. Alternativ kann mithilfe eines Fotos die Anzahl der sichtbaren Fahrtreppenstufen wie in Abbildung 5-4 gezeigt abgezählt werden.



Abbildung 5-4: Ermittlung der Förderhöhe einer Fahrtreppe durch Zählung der sichtbaren Stufen auf einem Foto.

Durch Multiplikation der abgemessenen Stufenhöhe kann dann die Förderhöhe genähert berechnet werden. Im Beispiel der abgebildeten Fahrtreppe wurden 15,3 Stufen gezählt, als Stufenhöhe wurde 20 cm gemessen. Die Förderhöhe beträgt somit etwa 3,06 m.

Bei der Zählung der Stufen ist auch im oberen Bereich der Fahrtreppe in der Regel ein Viertel einer Stufe noch gut erkennbar, d.h. der maximale Fehler beträgt ± 5 cm bzw. $\pm 5,75$ cm je nach Steigung. Die Entnahme der Raumhöhe aus einem Bauplan ist genauer, bedeutet jedoch einen im Verhältnis zum Erkenntnisgewinn nicht vertretbaren Zeitaufwand für die Beschaffung der Gebäudepläne, welche zudem oft aus Datenschutzgründen vom Eigentümer nicht herausgegeben werden.

Für Fahrtreppen mit besonders großer Förderhöhe, welche nicht komplett auf einem Foto erfasst werden kann, muss eine andere Methodik gewählt werden. Die Brüstung besteht in der Regel aus mehreren jeweils gleich breiten Elementen aus beispielsweise Glas oder Stahlblech. Es wird daher eines dieser Elemente abgemessen und dann die Anzahl der Elemente gezählt, um die „schräge Länge“, d.h. die Hypotenuse zu ermitteln. Zu Beginn und Ende des Fahrbandes schließen diese Elemente in der Regel nicht exakt mit der Hypotenuse ab. Für ein Abmessen bewegt sich die Fahrtreppe deutlich zu schnell, sodass an diesen Stellen nur eine optische Schätzung möglich ist. Der Fehler ist dabei im Bereich von maximal 20 cm bis 30 cm zu verorten, je nach Länge der Elemente. Die Förderhöhe kann dann mittels Trigonometrie aus Steigung und Hypotenuse ermittelt werden.

5.2 Teilmodell Warenhäuser

Warenhäuser sind überwiegend mehrgeschossige Einzelhandelsgroßbetriebe, die ein breites, branchenübergreifendes Sortiment sowie häufig auch Lebensmittel führen. Ihre Lage ist meist sehr zentral in Innenstädten (Gabler Wirtschaftslexikon 2017b). Im Vergleich zu Einkaufszentren dienen Warenhäuser weniger stark dem Konsum zur Freizeitgestaltung, dafür mehr der Versorgung alltäglicher Güter wie Schreibwaren, Hausrat usw. Da die Kundschaft für diese Waren in der Regel mit einem bestehenden Bedarf in das Warenhaus kommt, muss sie nicht spontan zu einem Kauf angeregt werden. Daher können solche Waren auch in ungünstigeren Verkaufsbereichen, d.h. in höher gelegenen Stockwerken angeboten werden. Warenhäuser verfügen daher häufig über deutlich mehr Ebenen als Einkaufszentren (Kapitel 5.3.1).

Für die Bestandsermittlung und Szenarienentwicklung wird nachfolgend hauptsächlich auf die Abhandlung von (Hessert 2012) zurückgegriffen, welche durch eigene Recherchen auf den Stand 2016 aktualisiert wurde. Diese betrachtet die beiden in Deutschland noch bestehenden Warenhausunternehmen Karstadt Warenhaus GmbH (im Folgenden: Karstadt) sowie GALERIA Kaufhof GmbH (fortan: Kaufhof). Beide nutzen angemietete Immobilien.

Da sich ein Teil der Warenhausfilialen in Einkaufszentren befindet, muss darauf geachtet werden, dass dieser nicht doppelt in die Berechnung einfließt. Für die generelle Analyse der bisherigen Entwicklung des Gebäudebestands und der wirtschaftlichen Situation der Warenhäuser werden zunächst alle Kaufhof- bzw. Karstadt-Filialen betrachtet. Für die in das Materialflussmodell eingehenden Daten zu Bestand und Szenarien werden jedoch lediglich Filialen berücksichtigt, welche nicht offiziell Teil eines Einkaufszentrums sind.

Als Bezugseinheit für Fahrtreppen wird bei Warenhäusern die Verkaufsfläche in m^2 verwendet. Dies ist insofern sinnvoll, da Fahrtreppen nur in den Verkaufsbereichen vorhanden sind und die zur Verfügung stehenden Daten für den Gebäudebestand ebenfalls in m^2 Verkaufsfläche angegeben wurden.

5.2.1 Bisherige Entwicklung und Gebäudebestand

Für das Materialflussmodell muss der Bestand an Filialen und Verkaufsflächen im Basisjahr beschrieben werden, um einen Startwert für die zu prognostizierende Entwicklung zu erhalten. Abgänge, Umnutzungen, Modernisierungen und Neubauprojekte von Warenhäusern sind stark von der wirtschaftlichen Situation der jeweiligen Filiale abhängig. Um diesbezüglich Zukunftsszenarien erstellen zu können, wird zunächst die Entwicklung der Warenhäuser in den letzten Dekaden

betrachtet. Die wirtschaftliche Perspektive der bestehenden Filialen für die zukünftige Entwicklung des Gebäudebestands wird im nachfolgenden Kapitel 5.2.2 aus dem Status quo abgeleitet.

Im Jahr 1993 existierten noch mehr als 375 Filialen bzw. rund 3,5 Mio. m² Verkaufsfläche der Unternehmen Karstadt, Kaufhof, Hertie und Horten in Deutschland (Hessert 2012). In den vergangenen zwei Dekaden unterstanden Warenhäuser jedoch großen wirtschaftlichen Herausforderungen. Ein bedeutender Faktor dabei ist die sogenannte „Schwächung der Innenstädte“. Infolge des starken Ausbaus von Einkaufszentren auf der „Grünen Wiese“ (siehe Kapitel 5.3.1) verringerte sich der Kundenstrom in die Innenstädte. Dies führte dort zu durchschnittlichen Leerstandsquoten zwischen 10% und 15% (Hessert 2012). Die zu großen Teilen in Innenstädten angesiedelten Warenhausfilialen verloren innerhalb von 10 Jahren teils mehr als 30% ihres Umsatzes an Einkaufszentren. Weiterhin ging im selben Zeitraum ein beträchtlicher Anteil des Umsatzes an den Onlinehandel verloren (Anhang A1).

In der Folge verkleinerte sich der Bestand an Warenhäusern beträchtlich. Bis 2010 reduzierte er sich auf 196 Filialen bzw. 2.751.050 m² Verkaufsfläche (Hessert 2012). Die Anzahl der Filialen ging dabei prozentual deutlich stärker zurück als die Verkaufsfläche, was auf eine Schließung hauptsächlich kleinerer Filialen zurückzuführen ist. Hinsichtlich der Standorte ist auffällig, dass anteilig mehr Filialen in kleineren bis mittelgroßen Städten geschlossen wurden. Hertie und Horten wurden schließlich von Karstadt bzw. Kaufhof übernommen, dabei wurden nochmals mehrere unrentable Filialen geschlossen.

2010 als Basisjahr ist jedoch vor dem Hintergrund der hohen Dynamik im Bereich der Warenhäuser für ein Materialflussmodell nicht mehr ausreichend, sodass die Daten aktualisiert werden mussten. Um die Entwicklung bis 2016 nachzuvollziehen, wurden die im Januar 2017 auf den Internetpräsenzen angegebenen Filialen der Warenhausunternehmen analysiert und mit den in (Hessert 2012) aufgeführten Filialen abgeglichen. Die Analyse zeigt, dass zu diesem Zeitpunkt noch 82 Karstadtfilialen und 100 Filialen von Kaufhof bestanden (Karstadt Warenhaus GmbH 2017).⁷ Neueröffnungen fanden seitdem nicht statt. Somit verringerte sich der Bestand seit 2010 nochmals um insgesamt 14 Filialen, darunter elf, welche sich nicht in Einkaufszentren befanden.

In der weiteren Berechnung zeigt sich außerdem, dass die Verkaufsfläche mehrerer bestehender Filialen von Kaufhof nach (GALERIA Kaufhof GmbH 2017) nicht mehr mit den in (Hessert 2012) verwendeten Angaben übereinstimmen. Dies ist oft darauf zurückzuführen, dass Untermietern wie Saturn oder Lebensmittelgeschäften gekündigt wurde und Kaufhof diese Flächen wieder selbst nutzt (Hessert 2017). Bei einzelnen Filialen wurden auch Verkaufsflächen reduziert. Bestanden diese Filialen in Einkaufszentren, so wurden Teile der Verkaufsfläche nicht weiter angemietet und innerhalb des Zentrums anderweitig genutzt. Handelte es sich um einzeln stehende Filialen, so kann dieser Rückgang beispielsweise bedeuten, dass ein Teil der Fläche an einen Untermieter vergeben wurde oder Teile der Verkaufsfläche stillgelegt wurden, um bei sinkendem Umsatz die Betriebskosten zu reduzieren. Im Fall einzeln stehender Filialen erzeugt dies ein Problem bei der Erfassung der Verkaufsflächen, da nicht bekannt ist, welche Flächen evtl. weiterhin untervermietet oder leer stehend sind. Diese Flächen beinhalten zumindest anteilmäßig Fahrtreppen, deren Lagerung bzw. späterer Ausbau von der Warenhausfiliale als Hauptmieter abhängig ist. Bei den vorliegenden Verkaufsflächen wird daher so vorgegangen, dass die Flächenvergrößerungen nach (Hessert 2017) berücksichtigt werden, Flächenverkleinerungen hingegen nicht.

Nach Aktualisierung der Verkaufsflächen und Abzug der geschlossenen Filialen ergibt sich für das Basisjahr 2016 eine Gesamtverkaufsfläche von 2.633.950 m² in 182 Filialen. Davon befinden sich 155 Filialen nicht in Einkaufszentren. Sie verfügen über eine Gesamtverkaufsfläche von 2.345.750 m². Für das Materialflussmodell müssen jedoch auch die leerstehenden Filialen vor der Umnutzung bzw. einem

⁷ Drei der in Hessert 2012 aufgeführten Karstadt-Filialen werden inzwischen offiziell als KaDeWe-Filialen geführt, im Rahmen dieser Arbeit jedoch weiterhin in der Gruppierung der Karstadt-Warenhäuser belassen.

Abbruch berücksichtigt werden, da in ihnen noch Fahrtreppen vorhanden sind. Dies betrifft drei Filialen von insgesamt 38.700 m² Verkaufsfläche. Insgesamt sind also 2.384.450 m² Verkaufsfläche als Gebäudelager im Basisjahr 2016 anzusetzen.

5.2.2 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen für die zukünftige Entwicklung

Mittels Analyse statistischer Daten zeigt (Hessert 2012), dass Warenhausfilialen trotz des hohen Wettbewerbsdrucks und der zahlreichen Filialschließungen der vergangenen Dekaden an bestimmten Standorten weiterhin erfolgreich betrieben werden können und eine Zukunftsperspektive haben. Filialen in Großstädten mit einer Verkaufsfläche über 20.000 m² erzeugen der Untersuchung nach größere Umsätze und arbeiten produktiver.

(Hessert 2012) beurteilte die Zukunftsperspektiven der einzelnen Kaufhof- und Karstadtfilialen durch einen Vergleich von Warenhausdaten (gewonnen aus Geschäftsberichten, Literaturrecherche und Befragung der Unternehmen) mit Marktdaten der Standorte. Dabei wurden unter anderem Einwohnerzahlen und ihre Entwicklung, Kaufkraft, Lage des Warenhauses sowie mögliche Konkurrenzsituationen durch Einkaufszentren berücksichtigt. Unter Annahme einer insgesamt stagnierenden Marktsituation wurden die Filialen in vier verschiedene Perspektiven bzw. Strategien eingeteilt. Im Rahmen der Szenarienentwicklung für das Materialflussmodell ist eine Vereinfachung auf drei Perspektiven ausreichend. Dies sind *Ausbau*, *Anfälligkeit* sowie *Rückzug*.⁸

Filialen der Perspektive *Ausbau* verfügen trotz der allgemein ungünstigen Marktsituation für Warenhäuser noch über eine gute und langfristig tragfähige Marktposition, bei der auch Investitionen oder Erweiterung der Verkaufsflächen sinnvoll sein können. Die Filialen der Perspektive *Anfälligkeit* können sich derzeit noch am Markt behaupten. Sie sind jedoch sehr anfällig für Veränderungen des Marktes, welche auch zur Neueinstufung der Filialen führen können. Da die Untersuchung von (Hessert 2012) einige Jahre zurückliegt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass einige der Filialen inzwischen anderweitig eingestuft werden müssen. Warenhausfilialen mit der Perspektive *Rückzug* haben aufgrund beispielsweise schlechter Flächenproduktivität, ungünstiger Lage, mangelnder Kaufkraft im Einzugsbereich oder Konkurrenz durch anderen stationären Einzelhandel bzw. den Onlinehandel bereits mittelfristig keine Zukunftsperspektive mehr. Bei Ihnen ist kurz- bis mittelfristig mit einer Schließung zu rechnen.

Die jeweils zugeordnete Anzahl der Filialen und ihrer Verkaufsflächen ist in Tabelle 5-1 aufgeführt. Für die Verwendung im Teilmodell wurden diese auf das Basisjahr 2016 aktualisiert sowie die sich in Einkaufszentren befindlichen Filialen herausgerechnet.

Tabelle 5-1: Zukunftsperspektiven der Warenhausfilialen in Deutschland, die sich nicht in Einkaufszentren befinden. Vereinfacht nach (Hessert 2012) und durch Abgleich der Filialdaten (GALERIA Kaufhof GmbH 2017; Karstadt Warenhaus GmbH 2017) aktualisiert auf Stand 31. Dezember 2016.

Perspektive	Marktbehauptung		Rückzug
	Ausbau	Anfälligkeit	
	Langfristig tragfähig	Hohe Anfälligkeit auf Marktveränderungen	Keine Zukunftsperspektive
Anzahl Filialen in Stück	Karstadt: 39 Kaufhof: 26 Gesamt: 65	Karstadt: 12 Kaufhof: 16 Gesamt: 28	Karstadt: 18 Kaufhof: 44 Gesamt: 62
Verkaufsfläche in 1.000 m²	Karstadt: 905,30 Kaufhof: 429,75 Gesamt: 1.335,05	Karstadt: 110,15 Kaufhof: 269,15 Gesamt: 379,3	Karstadt: 173,50 Kaufhof: 457,90 Gesamt: 631,40

⁸ In (Hessert 2012) ist die Perspektive *Anfälligkeit* unterteilt in zwei weitere Kategorien, die im Rahmen dieser Betrachtung jedoch nicht differenziert werden müssen, da ihr Unterschied keine im Materialflussmodell relevanten Auswirkungen zeigt.

In der Einordnung nach (Hessert 2012) sind 65 Filialen in der Perspektive *Ausbau*, d.h. knapp 42%. Diese verfügen über eine wesentlich höhere Verkaufsfläche als der Durchschnitt, sodass diese Gruppe insgesamt rund 57% der Verkaufsfläche ausmacht. Als anfällig wurden 28 Filialen eingestuft. Dies sind etwa 18% der Filialen und 16% der Verkaufsfläche. 62 Filialen, d.h. rund 40% wurden der Perspektive *Rückzug* zugeordnet. Dies trifft vor allem eher kleinere Filialen und macht daher nur etwa 27% der Verkaufsfläche aus.

Von den 14 seit 2010 geschlossenen Filialen befanden sich 13 in der Perspektive *Rückzug*. Bei sieben dieser Filialen wurde die „fehlende wirtschaftliche Perspektive“ explizit als Grund für die Schließung angegeben (GALERIA Kaufhof GmbH 2011). Ebenso wurden zwei der vier im Jahr 2017 schließenden Filialen in die Perspektive *Rückzug* eingeordnet. Die Einschätzung der wirtschaftlichen Perspektiven der Filialen von (Hessert 2012) erscheint damit plausibel. Allerdings verwundert, dass die verbliebene der seit 2010 geschlossenen Filialen sowie zwei der 2017 schließenden Filialen in die Perspektive *Ausbau* eingestuft waren, d.h. über eine hohe Wirtschaftlichkeit verfügten. Zeitungsberichte deuten darauf hin, dass die bereits geschlossene Filiale zwar wirtschaftlich arbeitete, die Immobilie jedoch aufgrund ihres vorteilhaften Standortes gewinnbringender an mehrere Einzelhandelsunternehmen bzw. als Büroflächen vermietet werden konnte (Stuttgarter Zeitung 2014). Für die Immobilien der beiden 2017 schließenden Filialen verspricht man sich höhere Profite bei der Nutzung als Einkaufszentrum bzw. für die erste Filiale des Warenhauses „Saks Off 5th“ in Deutschland, welche dem Eigentümer der Kaufhofkette gehört (Tagesspiegel 2016b). Eine gute Marktbehauptung bzw. positive Einstufung nach (Hessert 2012) ist somit kein Garant für das Weiterbestehen einer Warenhausfiliale, da bei besonders ertragreichen Standorten durch andere Nutzungsmöglichkeiten Konkurrenz um die angemietete Immobilie entstehen kann.

Auffällig ist, dass bei Kaufhof ein deutlich höherer Anteil an Filialen in die Perspektive *Rückzug* eingestuft wurde als bei Karstadt. (Hessert 2012) erklärt dies damit, dass bei Karstadt das Filialnetz bereits bis 2010 stark bereinigt wurde. Aktuell wurde die Karstadt-Kette zudem als wirtschaftlich stabilisiert erklärt, verzeichnet ein Umsatzwachstum und schrieb erstmals seit vielen Jahren wieder schwarze Zahlen, unter anderem auch mittels Onlinehandel (reuters 2017a). Dies bedeutet jedoch nicht, dass die unwirtschaftlichen Filialen dadurch mittel- bis langfristig weitergetragen werden. Im Gegenteil waren Schließungen unprofitabler Filialen eine wichtige Maßnahme, welche zur derzeit deutlich positiveren wirtschaftlichen Situation Karstadts führte. Bei der Kaufhof-Kette hingegen ist der Umsatz weiterhin rückläufig; von November 2016 bis Januar 2017 um 2%. Auch 2017 wird als schwieriges Geschäftsjahr eingestuft (reuters 2017b). Möglicherweise ist dies auf den hohen Anteil noch bestehender unrentabler Filialen zurückzuführen.

5.2.3 Treiber auf der Gebäudeebene

Aus den vorangehend erläuterten Entwicklungen der vergangenen Jahre und der derzeitigen Situation der Warenhäuser in Deutschland werden nachfolgend für die In- und Outputs auf Gebäudeebene jeweils drei verschiedene Szenarien abgeleitet, wie in Kapitel 4.2.3.1 beschrieben:

- **Trendszenario:** Das Trendszenario geht davon aus, dass die beschriebene wirtschaftliche Entwicklung weiter fortgeführt wird.
- **Szenario *Innenstadtstärkung*:** In diesem Szenario wird angenommen, dass derzeitige planungspolitische Bestrebungen zur Stärkung der Innenstädte erfolgreich sind. Damit wird auch die Lage der vor allem dort positionierten Warenhäuser im Vergleich zu Einkaufszentren außerhalb der Innenstädte verbessert. Zudem wird davon ausgegangen, dass die Konkurrenz durch den Onlinehandel nicht wächst. Dieses Szenario entspricht dem angenommenen Best-Case.
- **Szenario *Druck*:** In diesem Szenario wird von einem steigenden wirtschaftlichen Druck auf die Warenhäuser durch wachsende Marktanteile der Einkaufszentren und des Onlinehandels ausgegangen. Es wird als Worst-Case-Szenario angenommen.

Alle festgelegten, in das Materialflussmodell einzugebenden Werte auf Gebäudeebene dieses Teilmodells werden abschließend in Tabelle 5-4 und Tabelle 5-5 ab Seite 57 zusammengefasst. Eine Erläuterung zu Zukunftsperspektiven des Onlinehandels zum besseren Verständnis der Annahmen in den Szenarien ist in Anhang A1 gegeben.

5.2.3.1 Neubau und Gebäudezugänge durch Umnutzung

Eröffnungen neuer Filialen von Karstadt und Kaufhof fanden in den vergangenen Jahren eher selten statt. Karstadt eröffnete zwischen 2000 und 2010 sieben Filialen, jedoch an bereits vorher für Warenhäuser genutzten Standorten. Davon befinden sich fünf in Einkaufszentren (Hessert 2012). Kaufhof eröffnete im selben Zeitraum ebenfalls sechs neue Filialen, vier davon in Einkaufszentren. Nur zwei der neuen Filialen befanden sich an Standorten, an welchen vorher keine Warenhäuser präsent waren (Hessert 2012).

(Hessert 2012) schließt aufgrund der unbefriedigenden betriebswirtschaftlichen Ergebnisse der Unternehmen Karstadt und Kaufhof, dass eine Ausweitung ihrer Filialnetze „nahezu ausgeschlossen“ sei, und geht davon aus, dass sich der Trend der Verkleinerung weiter fortführen wird. Es wird daher und auch aufgrund der zahlreichen leerstehenden sowie zu anderen Zwecken umgenutzten Warenhausgebäude für alle Szenarien angenommen, dass mittelfristig keine Neubautätigkeit und keine Umbaumaßnahmen für neue Kaufhof- und Karstadtfilialen zu erwarten sind. Neueröffnungen in Einkaufszentren werden in diesem Teilmodell nicht betrachtet, da die darin enthaltenen Fahrtreppen im Teilmodell Einkaufszentren bereits berücksichtigt wurden.

Allerdings erzeugt auch die Erweiterung der Verkaufsfläche bestehender Standorte Inputs auf der Gebäudeebene des Materialflussmodells. Derzeit werden von 2017 bis 2018 die Kaufhoffilialen in Aachen und Frankfurt am Main Hauptwache um 6.000 bzw. 11.000 m² erweitert (Handelsimmobilien heute 2016). Dabei wird jeweils ein Komplettumbau angrenzender Immobilien vorgenommen.⁹ Es wird angenommen, dass die neuen Verkaufsflächen Fahrtreppen entsprechend des Faktors Gebäudetechnikgehalt erhalten.

Geplant ist vom Eigentümer der Kaufhofkette zudem die Einführung der Warenhauskette „Saks Off 5th“ in Deutschland. Diese verfolgt ein neuartiges Konzept, für das man sich in Deutschland noch eine Konsumentennachfrage verspricht. 2016 waren für das Frühjahr 2017 fünf Eröffnungen in Innenstadtlagen geplant sowie in den folgenden Jahren zwischen fünf und sieben Eröffnungen, bis insgesamt 40 Filialen erreicht sind (Kölnische Rundschau 2016). Diese sollen jeweils zwischen 2.000 m² und 4.000 m² Verkaufsfläche besitzen (Frankfurter Neue Presse 2016). Bereits die Eröffnungen der ersten Filialen verzögern sich und wurden auf „bis 2018“ verschoben (Handelsjournal 2016b). Die erste Filiale entsteht dabei im Düsseldorfer Carsch-Haus, welches vormals eine Filiale von Kaufhof war und im Rahmen dieses Modells als geschlossenes und umzunutzendes Warenhaus betrachtet wird. Es ist anzunehmen, dass auch die weiteren Filialen in bestehenden Immobilien eröffnet werden, welche dafür entsprechend umgebaut oder modernisiert werden. Das bedeutet, dass diese vermutlich vorher bereits über Fahrtreppen verfügten, aber möglicherweise nicht dem Gebäudetyp Warenhaus zugeordnet waren. Somit entstehen an dieser Stelle unter Umständen Outputs, die nicht im Blickfeld der Teilmodelle sind. Beispielsweise sind neben dem Carsch-Haus für die ersten Filialen die Immobilien der schließenden Kette des Sportfachgeschäfts Sportarena vorgesehen, darunter zunächst Frankfurt, Stuttgart, Heidelberg und Wiesbaden (Kölner Stadt-Anzeiger 2016b). Diese Filialen wurden bereits im Mai 2017 auf der Homepage von der Sportarena GmbH nicht mehr angegeben (Sportarena GmbH 2017). Es ist auch denkbar, dass ein Teil der „Saks Off 5th“ Filialen in Einkaufszentren eröffnet, d.h. nur in diesem Teilmodell nicht mehr betrachtet wird. Da dazu genauere Ankündigungen fehlen, werden in den Szenarien verschiedene Annahmen getroffen.

⁹ Diese wurden zuvor für ein Einzelhandelsgeschäft bzw. ein Einkaufszentrum genutzt.

Trendszenario: Das Trendszenario geht davon aus, dass die begonnenen Erweiterungen der Filialen des Aachener und Frankfurter Kaufhof abgeschlossen werden. Die Verkaufsflächen werden jeweils zur Hälfte in 2017 und in 2018 angenommen. Weitere Erweiterungen werden nicht erwartet.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die Einführung der angekündigten „Saks Off 5th“ Filialen stattfindet. Die ersten fünf Eröffnungen werden für 2018 angenommen. Danach werden für jedes Jahr sechs Eröffnungen angenommen, bis im Jahr 2024 40 Filialen erreicht sind. Für die Ketten Karstadt und Kaufhof wurde in Kapitel 5.2.1 ermittelt, dass sich zum 31. Dezember 2016 27 von 182 Filialen in Einkaufszentren befanden, d.h. rund 15%. Dieser Anteil wird auch für die Filialen von „Saks Off 5th“ angenommen, d.h. sechs Filialen werden in diesem Teilmodell nicht mehr betrachtet. Da die ersten fünf Filialen nicht in Einkaufszentren angekündigt wurden, wird für die sechs Jahre 2019 bis 2024 jeweils eine Filiale weniger betrachtet. Als jeweilige Verkaufsfläche wird für die ersten fünf Filialen die Verkaufsfläche des Carsch-Hauses sowie der umzubauenden Sportarena-Filialen Frankfurt, Stuttgart und Wiesbaden verwendet. Für die Filiale in Heidelberg sowie für die nachfolgenden Filialen wird eine Verkaufsfläche von 3.000 m² angenommen. Dies entspricht den gewünschten 2.000 - 4.000 m² Verkaufsfläche sowie ungefähr dem Durchschnitt aller im Mai 2017 noch geöffneten Sportarenafilialen von knapp 2.800 m² (Sportarena GmbH 2017). Die Umbaumaßnahmen für die Filialen werden jeweils zur Hälfte im selben Jahr und zur Hälfte im vorangehenden Jahr einkalkuliert.

Es wird angenommen, dass die Nachfrage auf dem Markt sowohl hinsichtlich der Erweiterungen von Karstadt und Kaufhof als auch der Einführung der „Saks Off 5th“-Filialen damit zunächst gesättigt ist.

Szenario Innenstadtstärkung: In diesem Szenario wird zunächst analog zum Trendszenario vom Abschluss der Erweiterungen der beiden Filialen von Kaufhof ausgegangen. Weitere Vergrößerungen bestehender Filialen werden auch hier nicht erwartet.

Hinsichtlich der Eröffnung von „Saks Off 5th“ wird angenommen, dass infolge der Innenstadtstärkung unter anderem durch planerische und politische Maßnahmen Neueröffnungen in bisherig leerstehenden Immobilien gefördert werden und sich die Einführung daher beschleunigt - statt jährlich fünf werden sieben Eröffnungen außerhalb von Einkaufszentren angenommen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die attraktiveren Innenstädte zu einer Eröffnung weiterer Filialen als angekündigt führen und statt der angekündigten 40 Filialen insgesamt 60 eröffnet werden, davon 51 außerhalb von Einkaufszentren. Hinsichtlich der Verkaufsflächen werden dieselben Annahmen wie im Trendszenario getroffen.

Szenario Druck: In diesem Szenario werden bis auf die bereits laufenden Ausbauten bei Kaufhof keine Bautätigkeiten bei Karstadt und Kaufhof angenommen.

Die Einführung der Kette „Saks Off 5th“ wird aufgrund der sich in diesem Szenario verschlechternden wirtschaftlichen Situation des Mutterkonzerns als sehr schleppend angenommen. Es wird davon ausgegangen, dass die ersten fünf Filialen zwar bis 2018 eröffnet werden können, da die Umbaumaßnahmen dazu bereits laufen. Danach werden jedoch jährlich nur zwei statt fünf Filialeröffnungen außerhalb von Einkaufszentren angenommen, bis insgesamt 20 statt der angekündigten 40 Filialen eröffnet wurden, davon 17 außerhalb von Einkaufszentren. Die Verkaufsflächen werden wie im Trendszenario angenommen.

5.2.3.2 Gebäudeabgänge durch Abbrüche und Umnutzung

Einem Gebäudeabgang geht zunächst eine Filialschließung voraus. Für 2017 wurde bereits die Schließung von drei Kaufhof-Filialen und einer Karstadt-Filiale angekündigt (Westdeutsche Zeitung 2017). Insgesamt betrifft dies rund 79.000 m² Verkaufsfläche in nur einem Jahr, was einen überdurchschnittlich hohen Wert darstellt und auf die besondere Größe der vier in Großstädten lokalisierten Warenhäuser zurückzuführen ist. In Abbildung 5-5 sind die jährlichen Schließungen nicht in Einkaufszentren befindlicher Filialen grafisch dargestellt, wobei in Ermangelung von Einzeldaten für den Zeitraum 1993 bis 2010 nur das jährliche Mittel angegeben werden konnte.

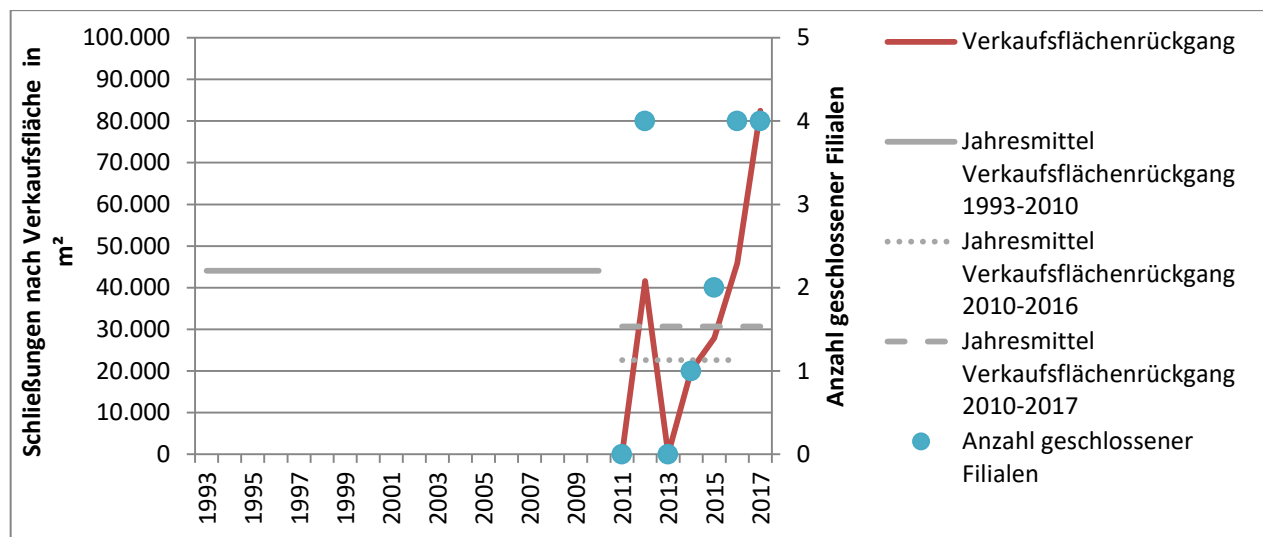


Abbildung 5-5: Warenhaus-Filialschließungen nach Anzahl und Verkaufsfläche sowie jährliche Mittel verschiedener Zeiträume.

Zwischen 2010 und 2016 ging die Gesamtverkaufsfläche um jährlich rund 22.600 m² zurück, unter Berücksichtigung der für 2017 angekündigten Schließungen um etwa 30.650 m² pro Jahr. Zwischen 1993 und 2010 verringerte sie sich noch um durchschnittlich 44.050 m² jährlich. Das bedeutet, dass die Größe der gesamten Verkaufsfläche zwar bislang weiterhin rückläufig ist, der Rückgang sich jedoch zu verlangsamen scheint, soweit dies mit der eingeschränkten Menge an Daten abschätzbar ist.

Die Immobilien geschlossener Filialen werden entweder abgebrochen oder umgenutzt. Da in ihnen beträchtliches Kapital gebunden ist, wird in der Regel Umnutzung angestrebt. In etwa einem von zehn Fällen bietet sich hinsichtlich Lage und baulicher Möglichkeiten der Umbau zu einem Einkaufszentrum an (Guratzsch 2009). Häufig verfügen Warenhäuser jedoch über deutlich mehr Verkaufsebenen, als dies für ein Einkaufszentrum sinnvoll wäre. Daher können Warenhausimmobilien mit vielen Ebenen nur teilweise zu Einkaufszentren umgenutzt werden. Für höher gelegene Ebenen sowie auch für die generell nicht als Einkaufszentrum umnutzbaren Immobilien bieten sich je nach Rahmenbedingungen und Nachfrage beispielsweise Nutzungen als Wohnfläche, für Büro bzw. Verwaltung, für Einzelhandelsgeschäfte im Erdgeschoss oder Mischnutzungen aus diesen Möglichkeiten an. Tabelle 5-2 zeigt eine quantitative Abschätzung der Anteile, zu denen Verkaufsflächen geschlossener Warenhausfilialen abgebrochen bzw. umgenutzt werden. Dazu wurde die Entwicklung der seit 2010 geschlossenen bzw. für 2017 bereits als schließend angekündigten, sich nicht in Einkaufszentren befindlichen Filialen durch die Recherche von Nachrichtenmeldungen analysiert.

Tabelle 5-2: Nachnutzungsoptionen der Verkaufsflächen der zwischen 2010 bis 2017 geschlossenen bzw. schließenden Filialen

Nachnutzung	Verkaufsfläche in m ²	Anteil (ausgenommen der Nachnutzung „unklar“)
Mischnutzung Einkaufszentrum und andere	29.000	16%
Einkaufszentrum	28.500	16%
Mischnutzung Einzelhandelsgeschäft(e) im EG und andere	39.300	22%
einzelnes großes Einzelhandelsgeschäft	19.400	11%
andere	28.000	15%
Abbruch	36.700	20%
unklar	33.700	-
gesamt (15 Filialen)	214.600	-

„andere“ bedeutet beispielsweise Bürofläche, Wohnfläche usw.

Quellen: ermittelt durch Auswertung von Nachrichtenmeldungen (Aachener Zeitung 2016; Augsburger Allgemeine 2015; Der Westen 2013, 2016a; Gießener Anzeiger 2014; Kölner Stadt-Anzeiger 2016b; Neue Westfälische 2016; nordbayern 2016; Recklinghäuser Zeitung 2016; RP online 2015; Stuttgarter Zeitung 2016; swr aktuell 2016; Tagesspiegel 2016b, 2016a, 2016b; Westdeutsche Zeitung 2017) .

Nach der Abschätzung werden 20% der Warenhausimmobilien abgebrochen, d.h. die enthaltenen Fahrtreppen werden freigesetzt. Im Fall der Umnutzung zu Wohn-, Büro- und Verwaltungsflächen etc. sowie bei einer Reduzierung der Handelsflächen auf das Erdgeschoss ist davon auszugehen, dass die Fahrtreppen ebenfalls nicht mehr benötigt werden und dem Recycling zukommen. Sollten die Immobilie oder Teile davon als mehrgeschossiges Einkaufszentrum oder für Einzelhandelsgeschäfte mit mehreren Ebenen umgenutzt werden, so werden weiterhin Fahrtreppen benötigt. Wie die Aufnahme von Fahrtreppen in Warenhäusern zeigt, sind diese von ihren Abmessungen her durchaus für Einkaufszentren geeignet. Beim Beispiel des Umbaus eines Kaufhofs in Suhl zu einem Einkaufszentrum im Jahr 2007 wurden die Fahrtreppen ausgebaut, gelagert und wieder eingebaut (inSüdthüringen 2007). Das deutlich höhere Durchschnittsalter der Fahrtreppen in Warenhäusern bedingt jedoch im Regelfall, dass diese sowohl optisch als auch hinsichtlich der Betriebslautstärke und des Fahrgefühls für ein revitalisiertes, modernes Einkaufszentrum nicht mehr empfehlenswert sind. Ob die Fahrtreppen beibehalten werden können oder dem Recycling zugeführt werden sollten, hängt daher stark vom Zustand der Geräte ab. Der Kostenfaktor für die Erneuerung der Fahrtreppen ist zudem in den Gesamtkosten der Umbaumaßnahmen vergleichsweise vernachlässigbar. Für die Erstellung der Szenarien wird davon ausgegangen, dass bei einer Umnutzung zum Einkaufszentrum in der Regel ebenfalls alle Fahrtreppen des Gebäudes frei werden. Wird die Immobilie insgesamt für ein einzelnes, großes Einzelhandelsgeschäft umgenutzt, so sind meist keine grundlegenden Umbauten an der Kundenverkehrsführung notwendig. Bei der Untersuchung von Fahrtreppen in neun größeren Einzelhandelsgeschäften wie beispielsweise der Bekleidungstextilienkette C&A wurden Fahrtreppen in vergleichbarer Anordnung festgestellt. Ebenfalls waren Abmessungen, optischer und akustischer Zustand der Fahrtreppen sowie das Fahrgefühl vergleichbar. Jedoch wurden Belege gefunden, dass auch in diesen Fällen Umbauten stattfinden, bei welchen die Fahrtreppen entfernt werden (Wetterauer Zeitung 2014). Daher wird die Annahme getroffen, dass in 50% der Fälle die Fahrtreppen erhalten und ansonsten erneuert werden. Es wird davon ausgegangen, dass sich eventuelle Fälle mit entgegen der Annahme weiter genutzten respektive ausgetauschten Fahrtreppen gegenseitig ausgleichen.

Die in Tabelle 5-2 ermittelten Anteile der Nachnutzungsoptionen geschlossener Warenhausfilialen seit 2017 wird daher nachfolgend in Tabelle 5-3 danach zusammengefasst, ob die Fahrtreppen voraussichtlich erhalten bleiben oder für Recycling frei werden. Ob ein Gebäude umgenutzt oder abgebrochen wird, hängt individuell vom Gebäude ab. Da im Materialflussmodell abstrahiert werden muss, werden als Annahme in den Szenarien jeweils die genannten Anteile der verschiedenen Entwicklungsoptionen verwendet.

Tabelle 5-3: Zusammenfassung der Nachnutzungsoptionen hinsichtlich des Freiwerdens der Fahrtreppen

Nachnutzungsoption hinsichtlich Freiwerdens der Fahrtreppen	Verkaufsfläche in m ²	Anteil
Abbruch mit frei werdenden Fahrtreppen	36.700	20%
Umnutzung mit frei werdenden Fahrtreppen	134.500	74%
Umnutzung mit weiter genutzten Fahrtreppen	9.700	6%

Arbeitsweg und Quellen siehe Tabelle 5-2

Im Materialflussmodell muss außerdem beachtet werden, dass zwischen der Schließung einer Warenhausfiliale bis zu deren Gebäudeabgang durch Umnutzung oder Abbruch ein bis durchaus mehrere Jahre andauernder, zumindest teilweiser Leerstand des Gebäudes zu erwarten ist. Gründe dafür sind häufig langwierige Konzeptentwicklungen und Planungsprozesse oder mangelnde Flächennachfrage. Auch Denkmalschutzauflagen können Umnutzungs- bzw. Abbruchvorhaben verzögern oder verhindern, beispielsweise bei Fassadenverkleidungen mit sogenannten „Hortenkacheln“, welche bis Anfang der 70er Jahre an vielen Warenhäusern verbaut wurden (Kölner Stadt-Anzeiger 2013). Beispiele für Leerstände sind die ehemalige Filiale von Kaufhof in Mühlheim, welche bis zum Abbruch sechs Jahre leer stand, sowie als Extremfall das ehemalige Kaufhaus Breuer in Eschweiler, dessen obere Ebenen bis zur Umnutzung über 30 Jahre leer standen (Der Westen 2009). Die Fahrtreppen können daher erst mit starker Verzögerung dem Recycling zugeführt werden. Selbst wenn bereits eine Teilumnutzung ohne Bedarf für Fahrtreppen durchgeführt wird, so können sie

dennoch für mögliche spätere Umnutzungen im Gebäude belassen werden. Gebäudeaufnahmen einer geschlossenen und zum Teil umgenutzten Karstadt-Filiale in Berlin zeigten, dass der Bereich der Fahrtreppen während der Vermietung von Teilen des Erdgeschosses an Einzelhändler zunächst nur umbaut wurde. Nach dem Einzug eines sich über mehrere Ebenen erstreckenden Möbelhauses wurden die Fahrtreppen Anfang 2017 wieder freigelegt.

Für die seit 2010 geschlossenen Filialen, bei denen bereits ein Abbruch bzw. ein Umbau für die Umnutzung erfolgt ist oder begonnen wurde, wurde der Zeitraum zwischen Schließung und Umbau bzw. Abbruch analysiert. Es zeigte sich, dass im Mittel 0,43 Jahre bis zum Umbau für die Umnutzung und 5,3 Jahre bis zum Beginn der Abbrucharbeiten vergehen, wobei auch diese Werte sehr individuell und situationsabhängig sind. Als Modellannahme wird gerundet eine Verzögerung von 0,5 Jahren bei Umnutzungen und 5,5 Jahren bei Abbrüchen verwendet. Diese geht in das Materialflussmodell mit ein, indem die Gebäudetechnik entsprechend später als Output freigesetzt wird. Da das Materialflussmodell mit Zeitschritten von jeweils einem Jahr arbeitet, wird die Hälfte des Abbruchs eines Jahres um 5, andere Hälfte um 6 Jahre verzögert eingegeben. Umnutzungen werden analog zur Hälfte im gleichen Jahr, zur anderen Hälfte im folgenden Jahr eingegeben.

Trendszenario: Für das Trendszenario wird angenommen, dass sich die wirtschaftliche Entwicklung des Einzelhandels der vergangenen Jahre fortführt. Es wird angenommen, dass der Onlinehandel zwar wie in der Prognose durch (Doplbauer 2015) weiter wachsen wird, der Gesamtumsatz im stationären Einzelhandel jedoch ungefähr stabil bleibt, d.h. keine wachsende Konkurrenz dadurch erwartet werden muss. Näheres zum Onlinehandel und seiner Entwicklung wird in Anhang A1 erläutert.

Eine Fortschreibung der bisherigen Filialschließungen pro Jahr ist nicht zielführend, da die einzelnen Filialen sich hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit stark unterscheiden können. Es ist davon auszugehen, dass bei den bisherigen Filialschließungen im Sinne der Wirtschaftlichkeit gehandelt wurde und daher zunächst die am wenigsten rentabel arbeitenden Filialen aufgegeben wurden. Da es aber nach (Hessert 2012) zukunftsfähige und wirtschaftliche Standorte gibt, bedeutet eine Fortführung des momentanen wirtschaftlichen Trends, dass die Filialschließungen sich nur bis zu einer bestimmten Anzahl aufgebener Filialen fortsetzen werden.

Es wird daher in diesem Szenario davon ausgegangen, dass die nach (Hessert 2012) in die Perspektive *Rückzug* eingestuft Filialen sich mittelfristig alle nicht weiter am Markt halten können und schließen - die Filialen der Kette Karstadt als Fortführung des bislang erfolgreichen wirtschaftlichen Optimierungsprogramms und die Filialen der Kaufhofkette bedingt durch die schlechte wirtschaftliche Lage aufgrund unprofitabler Filialen. In der Realität werden Schließungen zum Auslaufen der Mietverträge für die Immobilien durchgeführt. Es tritt dabei meist eine Clusterung auf, d.h. in einzelnen Jahren werden mehrere Filialen geschlossen, in anderen Jahren hingegen keine (siehe Abbildung 5-5 auf Seite 51). Das Jahresmittel der Schließungen zwischen 2010 bis 2016 wird für das Trendszenario als relativ gering, das von 2010 bis 2017 aufgrund des außergewöhnlich hohen Wertes von 2017 jedoch als relativ groß eingeschätzt. Es wird daher der Mittelwert beider Jahresmittel verwendet: 26.600 m². Diese Verkaufsfläche wird jährlich als Gebäudeoutput von der noch verbliebenen Gesamtverkaufsfläche aller Filialen der Perspektive *Rückzug* abgezogen, bis diese im Jahr 2040 auf 0 gesunken ist.¹⁰

Da von 2010 bis 2017 keine Filialen aus der Perspektive *Anfälligkeit* geschlossen wurden, wird angenommen, dass dies mittelfristig auch weiterhin nicht der Fall sein wird.

¹⁰ Die Clusterung der Filialschließungen könnte im Modell auch über Gruppierungen mit verschiedenen Anzahlen jährlicher Filialschließungen über einen Zeitraum von beispielsweise fünf Jahren simuliert werden. Diese Gruppen müssten jeweils ungefähr das Jahresmittel des Verkaufsflächenrückgangs besitzen. Da das Materialflussmodell jedoch eine Schätzung und keinen exakten Ablauf darstellt, besitzt es nur Aussagekraft über Zeiträume statt über spezifische Jahre. Daher würde diese Clusterung nur optischen Zwecken dienen und ggf. eine fälschliche Aussagekraft über einzelne Jahre suggerieren, aber keinen Mehrwert an nutzbarer Information liefern.

Für die Schließungen der drei Filialen in der Perspektive *Ausbau* in den Jahren 2016 und 2017 ist keine Systematik zu erkennen, ebenfalls kann aus den vorhandenen Daten nicht ermittelt werden, ob und wann weitere Schließungen von Filialen dieser Perspektive stattfinden oder ob diese Schließungen Ausnahmefälle waren. Es wird daher im Trendszenario davon ausgegangen, dass keine weiteren Schließungen in der *Ausbau*-Perspektive stattfinden.

Szenario *Innenstadtstärkung*: Dieses Szenario geht davon aus, dass die Innenstädte durch derzeit laufende planungspolitische Bestrebungen im Rahmen der Quartiersentwicklung aufgewertet werden, beispielsweise durch Stärkung des Einzelhandels, Modernisierung der Fußgängerzonen oder auch attraktivitätssteigernde Integration von Einkaufszentren. Warenhäuser und umliegender weiterer Einzelhandel sind bei sinnvoller Abstimmung keine direkte Konkurrenz, sondern ergänzen sich, sodass beide von wachsenden Besucherströmen profitieren können. Bezüglich des Onlinehandels werden die gleichen Annahmen wie im Trendszenario getroffen.

Ausgehend von dieser Entwicklung wird angenommen, dass sich einige der in die Perspektive *Rückzug* eingeordneten Filialen wirtschaftlich wieder erholen und zumindest mittelfristig weiterhin betrieben werden. Dies wird vor allem für Städte angenommen, in welchen sich nur ein Warenhaus befindet. Die Gesamtverkaufsfläche der *Rückzug*-Filialen, die in diesem Szenario geschlossen wird, entspricht also zunächst der Verkaufsfläche aller *Rückzug*-Filialen, welche in einer Stadt lokalisiert sind, die bereits ein weiteres Warenhaus besitzt, unabhängig davon zu welcher Kette es gehört und ob es sich in einem Einkaufszentrum befindet oder nicht. Dies betrifft rund 181.800 m² Verkaufsfläche. Da nicht zu erwarten ist, dass die Maßnahmen zur Innenstadttaufwertung an allen Standorten erfolgreich sind, wird zusätzlich angenommen, dass von den verbliebenen 449.600 m² der *Rückzug*-Filialen nochmals 50% mittelfristig schließen werden. Insgesamt sind in der Perspektive *Rückzug* somit 406.600 m² Verkaufsfläche zu schließen, während 224.800 m² Verkaufsfläche durch die Maßnahmen der Innenstadtstärkung erhalten werden können.

Die Schließungen finden nicht mit der Geschwindigkeit des Trendszenarios statt. Dies würde implizieren, dass die Schließungen relativ gesehen schneller vorangehen als im Trendszenario. Es wird stattdessen angenommen, dass eine Reduzierung der zu schließenden Filialen die Geschwindigkeit entsprechend verlangsamt, wie es auch in der zu Beginn dieses Kapitels geschilderten Entwicklung der Warenhausfilialen zu erkennen ist. Daher wird das Jahresmittel des Trendszenarios von 26.600 m² entsprechend des Anteils der zu schließenden Fläche angenommen mit $(406.600 \text{ m}^2 / 631.400 \text{ m}^2) * 26.600 \text{ m}^2 = 17.130 \text{ m}^2$ pro Jahr, bis alle zu schließenden Filialen geschlossen wurden. Dies geschieht im Jahr 2039.

Analog zum Trendszenario wird angenommen, dass mittelfristig auch weiterhin keine Filialen der Perspektive *Anfälligkeit* geschlossen werden sowie dass die Schließungen der Filialen in der Perspektive *Ausbau* einen Sonderfall darstellten.

Szenario *Druck*: In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass sich der Druck auf die Warenhäuser infolge eines weiteren Ausbaus von Einkaufszentren und/oder eines größeren Anteils des Onlinehandels am Umsatz weiter verstärkt. Es wird davon ausgegangen, dass der Onlinehandel sich entsprechend der Prognose nach (Doplbauer 2015) entwickelt (siehe Anhang A1). Weiterhin wird jedoch angenommen, dass dieses Wachstum nicht nur durch gesteigerten Konsum zustande kommt, sondern zum Teil auf Kosten der Warenhäuser geschieht. Diese erfüllen primär den Zweck der Versorgung durch Waren und weniger dem Einkaufen als Erlebnis und sind daher durch das ebenfalls eher zweckmäßige Einkaufen im Internet stärker bedroht als Einkaufszentren.

Hinsichtlich der Filialen in der Perspektive *Rückzug* und der Perspektive *Ausbau* werden die gleichen Annahmen wie im Trendszenario getroffen. Bei Warenhäusern der Perspektive *Anfälligkeit* wird davon ausgegangen, dass sie den sich verschlechternden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen des Szenarios nicht mehr standhalten können und somit ebenfalls in die *Rückzug*-Perspektive „abrutschen“. Dies geschieht nicht schlagartig, sondern sukzessive. Nach (Doplbauer 2015) wird der Onlinehandel ab

2025 in eine Sättigung gehen. Daher wird angenommen, dass sich die Konkurrenzsituation im Wesentlichen bis 2025 steigern wird und somit alle Filialen der Perspektive *Anfälligkeit* zwischen 2017 und 2025 in die Perspektive *Rückzug* eingestuft werden. Im Mittel sind dies bei 379.300 m² Verkaufsfläche und verteilt auf 9 Jahre jährlich 42.144 m². Diese Filialen werden jedoch wie auch die bislang in der Perspektive *Rückzug* befindlichen Filialen nicht schlagartig geschlossen. Es wird eine zeitliche Verzögerung von 15 Jahren angenommen. Für die Zeit, die eine Filiale im Durchschnitt in der Perspektive *Rückzug* verbleibt, liegen keine Vergleichsdaten vor. Daher geht dieses Szenario davon aus, dass bedingt durch den stark wachsenden Konkurrenzdruck Filialschließungen ggf. kurzfristiger als derzeit erfolgen und die Mietverträge im Mittel nicht länger als genannte 15 Jahre laufen.

5.2.3.3 Modernisierungen

Gründe für Modernisierungen von Warenhäusern sind beispielsweise Abnutzungserscheinungen durch Nutzung und Umwelteinflüsse, aber auch optische Aufwertung oder eine neue Ausrichtung des Warensortiments bzw. der Präsentation. Daher sollten in regelmäßigen Abständen Modernisierungen durchgeführt werden, um das Warenhaus konkurrenzfähig zu erhalten. Nicht alle Modernisierungen beeinflussen die enthaltenen Fahrtreppen, beispielsweise wenn nur Bodenbeläge oder Beleuchtung erneuert werden. Selbst im Fahrtreppenbereich sind Aufwertungen der Optik möglich, ohne dass die Fahrtreppen selbst erneuert oder modernisiert werden müssen, beispielsweise durch Lichter im Deckenbereich über den Fahrtreppen oder Bekleben der seitlichen Fußleisten. Es werden daher im Materialflussmodell nur Modernisierungen mit Austausch der Fahrtreppen betrachtet.

Kaufhof tauschte zwischen 2005 und 2011 Fahrtreppen in den Filialen Berlin Alexanderplatz, Freiburg und Bad Kreuznach aus (Badische Zeitung 2010; Rhein-Zeitung 2011; City-Tiger 2009; Berliner Kurier 2005). Seitens Karstadt wurden zwischen 2013 und 2016 Fahrtreppen in den Filialen in Wiesbaden, Fulda, Dortmund, Freiburg, Konstanz und Gießen ausgetauscht (Wiesbadener Kurier 2013; Osthessen News 2013; Westfälische Rundschau 2013; Badische Zeitung 2014; Südkurier 2016; Gießener Anzeiger 2017).

Die Gebäudeaufnahmen zeigen, dass in einem Warenhaus häufig Fahrtreppen verschiedenen Alters zu finden sind, beispielsweise aufgrund späterer Aufstockungen. In allen recherchierten Fällen wurden jedoch die Fahrtreppen komplett ausgetauscht. Vermutlich ist dies darauf zurückzuführen, dass die Kosten für eine Fahrtreppe an sich aufgewogen mit dem Aufwand und den Einschränkungen des Betriebes beim Einbau relativ gering sind. So mussten bei der Dortmunder Karstadtfiliale ein Teil der Fassade und in Wiesbaden eine Wand entfernt werden, beim Kaufhof in Berlin am Alexanderplatz war der Einsatz eines Hubschraubers notwendig, um die Fahrtreppen in die oberen Stockwerke zu ziehen (Berliner Kurier 2005; Westfälische Rundschau 2013; Wiesbadener Kurier 2013). Dies legt nahe, dass bei solch einer umfangreichen baulichen Maßnahme auf die verbliebene Nutzungsdauer der jüngeren Fahrtreppen verzichtet wurde. Ebenfalls müssen bei einem Austausch oft Decken und Böden im Bereich der Fahrtreppen erneuert werden, da diese dadurch in Mitleidenschaft gezogen werden können. Daher erfolgte der Austausch in den meisten der ermittelten Fälle gemeinsam mit einer generellen Modernisierung der Filiale.

Es erscheint zunächst naheliegend, dass die schlechte wirtschaftliche Situation vieler Filialen die vergleichsweise hohen Investitionen in neue Fahrtreppen verhindert. Der Austausch von sechs Fahrtreppen im Beispiel des Kaufhofs Bad Kreuznach kostete rund 600.000 € für eine verhältnismäßig kleine Filiale mit 7.000 m² Verkaufsfläche auf 4 Ebenen (Rhein-Zeitung 2011). Allerdings wurde eben diese Filiale sowie auch die Karstadtfiliale in Fulda von (Hessert 2012) in die Perspektive *Rückzug* eingestuft, die Karstadtfiliale in Gießen in die Perspektive *Anfälligkeit*. Es ist möglich, dass in diesen Fällen bei der jährlichen Überprüfung Mängel festgestellt wurden und daher der Austausch notwendig oder wirtschaftlicher als eine entsprechende Modernisierung war. Daher kann nicht pauschal von der Einstufung nach (Hessert 2012) auf die Modernisierungstätigkeit geschlossen werden.

In allen Zeitungsmeldungen über ausgetauschte Fahrtreppen wurde ein Alter von ca. 50 Jahren angegeben. Ältere Fahrtreppen wurden bei den Gebäudeaufnahmen nicht gefunden, weshalb die

durchschnittliche Nutzungsdauer mit 50 Jahren angenommen wird (siehe Kapitel 5.2.5). Der Austausch aller Fahrtreppen wird angenommen, wenn das Ende der Nutzungsdauer der jeweils ältesten Fahrtreppen der Filiale erreicht bzw. bald zu erwarten ist. Ist zum Zeitpunkt einer gewünschten Modernisierungsmaßnahme das Ende der Nutzungsdauer noch nicht erreicht oder absehbar, so wird angenommen, dass kein Austausch stattfindet. Daher kann im Materialflussmodell vereinfachend der Einflussfaktor der Modernisierungen auf Gebäudeebene ausgelassen werden. Stattdessen werden die dabei ausgewechselten Fahrtreppen direkt in der Gebäudetechnikebene beim Austausch defekter bzw. veralteter Geräte berücksichtigt, da beide Faktoren in diesem Fall eng miteinander verknüpft sind. Die Normalverteilung sowie die Anzahl der in jedem Jahr auszutauschenden Fahrtreppen werden in Kapitel 5.2.5 berechnet.

5.2.3.4 Übersicht der festgelegten Szenario-Eingangswerte für das Materialflussmodell

Nachfolgend werden in Tabelle 5-4 und Tabelle 5-5 alle festgelegten Variablenwerte für die Gebäudeebene im Teilmodell Warenhäuser aufgelistet.

Tabelle 5-4: Für alle Szenarien einheitlich festgelegte Eingangswerte des Teilmodells Warenhäuser auf Gebäudeebene

Variable	Wert	Anmerkung
Verkaufsfläche Lager im Basisjahr 2016		
Perspektive <i>Rückzug</i>	631.400 m²	in Szenario <i>Innenstadtstärkung</i> 406.600 m² in <i>Rückzug</i> und 604.100 m² in <i>Anfälligkeit</i> , da einige Filialen sich erholen bzw. länger betrieben werden können
Perspektive <i>Anfälligkeit</i>	379.300 m²	
Perspektive <i>Ausbau</i>	1.335.050 m²	
gesamt inklusive Leerstand	2.384.450 m²	inklusive der Warenhäuser nach Schließung, aber vor Umnutzung bzw. Abbruch
angekündigte Filialschließungen 2017		
Perspektive <i>Rückzug</i>	40.000 m²	bereits angekündigt bzw. laufend, weitere nicht angekündigt und daher nicht angenommen
Perspektive <i>Ausbau</i>	39.000 m²	
Entwicklung der geschlossenen Filialen		
Abbruch	20%	
Umnutzung FT frei	74%	Umnutzung, bei der die Fahrtreppen frei werden
Umnutzung FT bleibt	6%	Umnutzung, bei der die Fahrtreppen weiter genutzt werden
Verzögerungen		
bei Abbruch	5,5 a	jeweils 50% des Abbruchs nach 5 bzw. 6 Jahren in die Rechnung eingehend
bei Umnutzung	0,5 a	jeweils 50% der Umnutzungen im selben bzw. folgenden Jahr in die Rechnung eingehend
angekündigte Abbrüche		
2018	17.000 m²	Abbruch einer 2012 geschlossenen Filiale bzw. Abbruchsanteile 2016 geschlossener Filialen mit unbekannter Zukunft, wird im jeweiligen Szenario zum ggf. vorhandenen Abbruch addiert
2021	2.170 m²	
2022	2.170 m²	
angekündigte Filialerweiterungen und Eröffnungen		
2017 sowie 2018	8.500 m²	Filialen Kaufhof Aachen und Kaufhof Zeil
„Saks Off 5th“ Filialen		Quellen für Frankfurt, Stuttgart, Wiesbaden, Heidelberg: (Textilwirtschaft 1999; 004 GmbH 2013)
Düsseldorf	10.500 m²	
Frankfurt	5.300 m²	
Stuttgart	3.500 m²	
Wiesbaden	2.700 m²	
Heidelberg	2.900 m²	
alle weiteren	3.000 m²	

Tabelle 5-5: Festgelegte Eingangswerte der verschiedenen Szenarien des Teilmodells Warenhäuser auf Gebäudeebene

	Trendszenario	Szenario <i>Innenstadtstärkung</i>	Szenario <i>Druck</i>
Schließungen ab 2018			
Perspektive <i>Rückzug</i>	26.600 m ² pro Jahr bis alle <i>Rückzug</i> -Filialen geschlossen sind	17.130 m ² pro Jahr bis alle <i>Rückzug</i> -Filialen an Doppelstandorten sowie 50% der verbleibenden <i>Rückzug</i> -Filialen geschlossen sind (insgesamt 406.600 m ²)	26.600 m ² pro Jahr bis alle <i>Rückzug</i> -Filialen geschlossen sind
Perspektive <i>Anfälligkeit</i>	-	-	bis 2025 42.144 m ² pro Jahr neu eingestuft in Perspektive <i>Rückzug</i> , Schließung nach je 15 Jahren
Perspektive <i>Ausbau</i>	-	-	-
Umbau für Filialeröffnungen			
Anzahl Eröffnungen „Saks Off 5th“ außerhalb von Einkaufszentren	34	51	17
Geschwindigkeit der Eröffnungen	5 bis 2018, danach 5 pro Jahr	5 bis 2018, danach 7 pro Jahr	5 bis 2018, danach 2 pro Jahr

5.2.4 Gebäudetechnikgehalt und Gebäudetechniklager

Der Gebäudetechnikgehalt wird zur Berechnung des Gebäudetechniklagers benötigt. Er wird durch die Untersuchung von insgesamt 560 Fahrtreppen aus 30 Filialen von Kaufhof bzw. Karstadt empirisch ermittelt. Anhand der Stichproben werden nachfolgend alle wichtigen Parameter auf den Gesamtbestand der nicht in Einkaufszentren befindlichen Warenhäuser in Deutschland hochgerechnet.

Die Ergebnisse der Fahrtreppenzählung ist in Abbildung 5-6 abhängig von Verkaufsfläche und Ebenenanzahl dargestellt. Warenhäuser mit großer Verkaufsfläche respektive mit einer großen Anzahl von Ebenen verfügen tendenziell über mehr Fahrtreppen. Zu erkennen ist jedoch auch, dass sowohl Warenhäuser mit gleicher Verkaufsfläche als auch Warenhäuser mit annähernd gleicher Ebenenanzahl über unterschiedlich viele Fahrtreppen verfügen können. Dies liegt am teils sehr unterschiedlichen Verhältnis der Verkaufsflächen zur Anzahl der Ebenen. Zwischen den untersuchten Warenhäusern variiert es zwischen 1.500 m² und 7.250 m² Verkaufsfläche pro Ebene. Filialen mit sehr weitläufigen Ebenen verfügen oft über mehrere Fahrtreppenbereiche, um den Kunden kürzere Wege im Gebäude zu ermöglichen. Dies ist in der Abbildung vor allem für die Warenhäuser mit sechs Ebenen zu erkennen. Trotz gleichbleibender Ebenenanzahl steigt die Anzahl der Fahrtreppen bei wachsender Verkaufsfläche. Ebenso benötigen Warenhäuser mit sehr geringer Verkaufsfläche je Ebene dennoch mindestens zwei Fahrtreppen pro Ebenenverbindung. Daher können sie über mehr Fahrtreppen verfügen als Warenhäuser mit gleicher Verkaufsfläche, aber geringerer Anzahl von Ebenen. Dies ist bei den untersuchten Warenhäusern vor allem im Bereich der Verkaufsfläche um 25.000 m² zu erkennen.

Als rote Linie ist in Abbildung 5-6 die Anzahl der Fahrtreppen dargestellt, die mit einem nur von der Verkaufsfläche abhängigen Faktor *Gebäudetechnikgehalt* ermittelt wurde. Dieser entspricht der durchschnittlichen Anzahl der Fahrtreppen von 0,82 Fahrtreppen je 1.000 m² Verkaufsfläche bei einer Standardabweichung von 0,25. Im Vergleich zur davon deutlich abweichenden schwarz dargestellten Regressionsgeraden zeigt sich, dass dieser Faktor aufgrund des unberücksichtigten Einflusses der Ebenenanzahl nicht repräsentativ ist. Daher ist es in diesem Fall sinnvoll, den Gebäudetechnikgehalt durch eine Funktion auszudrücken. Dazu kann die Funktionsgleichung der Regressionsgeraden verwendet werden.

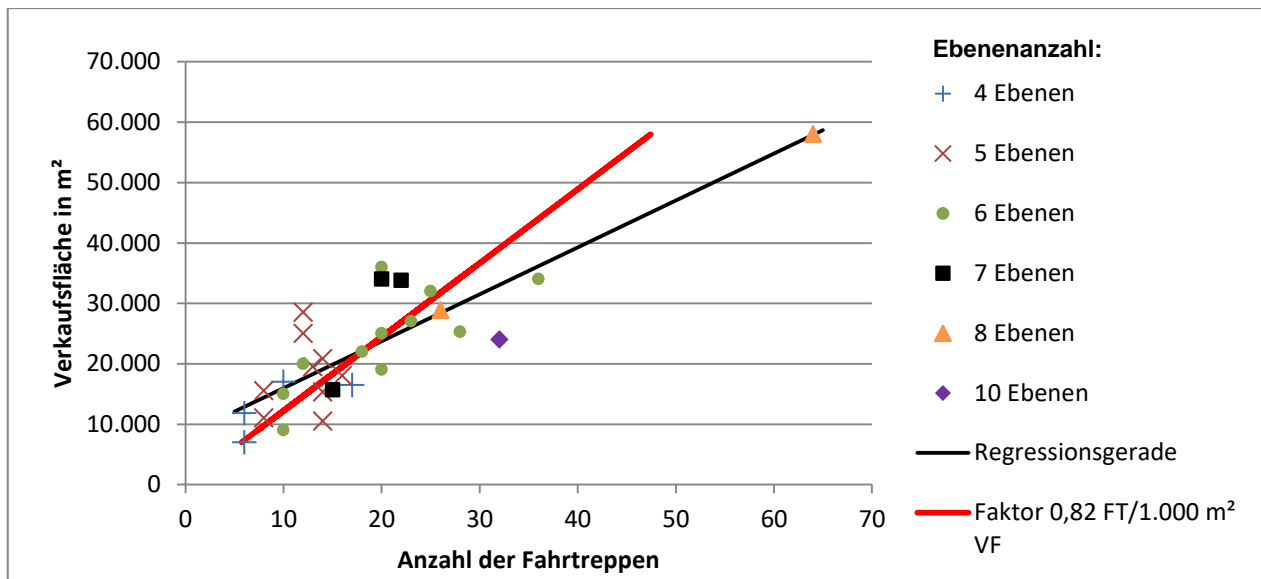


Abbildung 5-6: Fahrtreppen in 30 untersuchten Warenhäusern, aufgegliedert nach Verkaufsfläche und Anzahl der Ebenen.

Die Regressionsgerade kann mit Formel (1) berechnet werden.

$$A = 8.246,7 + 776,2 \cdot x \quad (1)$$

mit

A Verkaufsfläche in m^2

x Anzahl der Fahrtreppen in Stück

Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgeraden beträgt $R^2 = 0,716$ und wird als guter Wert eingeschätzt, da die Anzahl der untersuchten Gebäude verhältnismäßig klein ist.¹¹ Der Extremfall des Warenhauses mit 64 Fahrtreppen beeinflusste die Regressionsgerade dabei nicht wesentlich. Zu beachten ist, dass diese Formel eine Näherungsrechnung für die Gesamtzahl der Fahrtreppen darstellt und nicht für einzelne Filialen verwendet werden sollte, da diese wie in Abbildung 5-6 gezeigt in der Regel von der Regressionsgeraden abweichen.

Durch Umstellung der Formel (1) nach der abzuschätzenden Anzahl x der Fahrtreppen in Stück und Einsetzen der Gesamtverkaufsfläche der betrachteten in Betrieb befindlichen sowie leer stehenden Filialen von 2.384.450 m^2 ergeben sich 3.061 Fahrtreppen für das Basisjahr 2016.

An dieser Stelle ist eine Validierung mittels überschlägiger Hochrechnung der Herstellerempfehlungen zum Einzugsbereich einer Fahrtreppe methodisch sinnvoll. Laut dem Planungsleitfaden der Firma Schindler sollten Laufwege von über 50 m bis zur nächstgelegenen Fahrtreppe vermieden werden. Es wird daher für jeweils 5.000 m^2 Verkaufsfläche auf einer Ebene eine Fahrtreppenanlage in die nächste Ebene empfohlen (Schindler Deutschland AG & Co. KG 2017a). Das bedeutet, dass ein Warenhaus mit zwei Ebenen und 10.000 m^2 Verkaufsfläche mindestens 2 Fahrtreppen benötigen würde, eines mit 5 Ebenen und 25.000 m^2 Verkaufsfläche hingegen 8 Fahrtreppen. Bei Gebäudeaufnahmen wurden jedoch deutlich höhere Werte ermittelt. Dies liegt zum einen daran, dass die Verkaufsflächen je Verkaufsebene im Mittel lediglich etwa 3.830 m^2 betrugen, zum anderen auch daran, dass 24 der 30 Filialen vermutlich zur Verbesserung des Komforts mehr als die erforderliche Zahl an Fahrtreppen pro Ebenenverbindung nutzten. Die Herstellerempfehlung liegt daher deutlich darunter; die Hochrechnung bietet in diesem Fall keinen informativen Mehrwert.

¹¹ R^2 besitzt einen Wertebereich von 0 bis 1, wobei 1 den Optimalfall darstellt, bei dem alle Punkte auf der Regressionsgeraden liegen.

5.2.5 Treiber auf der Gebäudetechnikebene

Auf der Gebäudetechnikebene müssen ebenfalls Annahmen zum Zubau bzw. Abbau von Fahrtreppen gemacht werden sowie eine Prognose des zukünftigen Austauschs am Ende der Nutzungsdauer.

5.2.5.1 Zubau und Abbau

Da die Fahrtreppen bei Planung der Warenhäuser entsprechend der zu erreichenden Verkaufsflächen abgezählt und dimensioniert werden und einen elementaren Bestandteil ihrer Infrastruktur darstellen, wird davon ausgegangen, dass in der Regel weder Abbau noch Zubau stattfindet.

5.2.5.2 Austausch der Fahrtreppen zum Ende ihrer Nutzungsdauer

Als „Startpunkt“ der Nutzungsdauer wird nachfolgend annäherungsweise das (Ein)Baujahr der Fahrtreppen angenommen. Dafür konnten während der Aufnahmen teilweise Typenschilder mit einer genauen Angabe gefunden werden wie in Abbildung 5-7 gezeigt.



Abbildung 5-7: Typenschild mit Angabe des Baujahres.

In einigen Fällen gelang es, genauere Angaben für den Zeitpunkt des Einbaus einer Fahrtreppe vom Betreiber zu erhalten. Größtenteils war dies jedoch nicht möglich. Dies hatte verschiedene Ursachen. Teilweise wussten Betreiber nicht, ob und wo diese Informationen zu finden waren, teilweise gingen sie durch Wechsel der Eigentumsverhältnisse verloren oder der Anfrage wurde eine angesichts des notwendigen Aufwands zu geringe Bedeutung beigemessen. Daher müssen die nicht verfügbaren Einbaujahre der Fahrtreppen geschätzt werden. Orientierungshilfe dazu sind folgende Indizien:

- Informationen über Baujahre der Gebäude, Aufstockungen, Erweiterungen oder umfangreiche Sanierungen (beispielsweise erkennbar am Baujahr des Aufzugs),
- Hersteller O&K (*Orenstein und Koppel AG*), deren Logo nur auf Fahrtreppen bis 1995 besteht, da die Sparte der Fahrtreppen danach an Kone verkauft wurde (Bonfiglioli O&K Antriebstechnik 2017),
- Hersteller Rheinstahl, der ab 1974 mit anderen zur *Thyssen Aufzüge GmbH* zusammengefasst wurde und fortan kein eigenes Logo mehr nutzte (ThyssenKrupp Fahrtreppen 2012),
- Hersteller Rathgeber, wurde 1986 von Meiller übernommen, die Produktion der Fahrtreppen endete jedoch vermutlich bereits deutlich früher (Rathgeber AG 2017),
- Logo des Herstellers und optischer Eindruck der Geräte im Vergleich mit Fahrtreppen, deren Alter bekannt ist oder bereits gut geschätzt werden konnte.

In Abbildung 5-8 ist die ermittelte oder geschätzte Anzahl der 560 aufgenommenen Fahrtreppen je Einbaujahr dargestellt. Es sind grob drei Häufungen erkennbar: zwischen etwa 1965 und 1982, zwischen 1990 und 2000 sowie ab 2005.

Die erste Häufung enthält noch die erste in Warenhäuser eingebaute Generation von Fahrtreppen, während die zweite zwischen 1990 und 2000 ebenfalls erstmalig erneuerte Fahrtreppen enthält sowie solche, die im Rahmen von Aufstockung oder Erweiterung eingebaut wurden. Die Häufung ab 2005 entstand bei den betrachteten Filialen durch Austausch von Fahrtreppen aus den 1960er und 1970er Jahren.

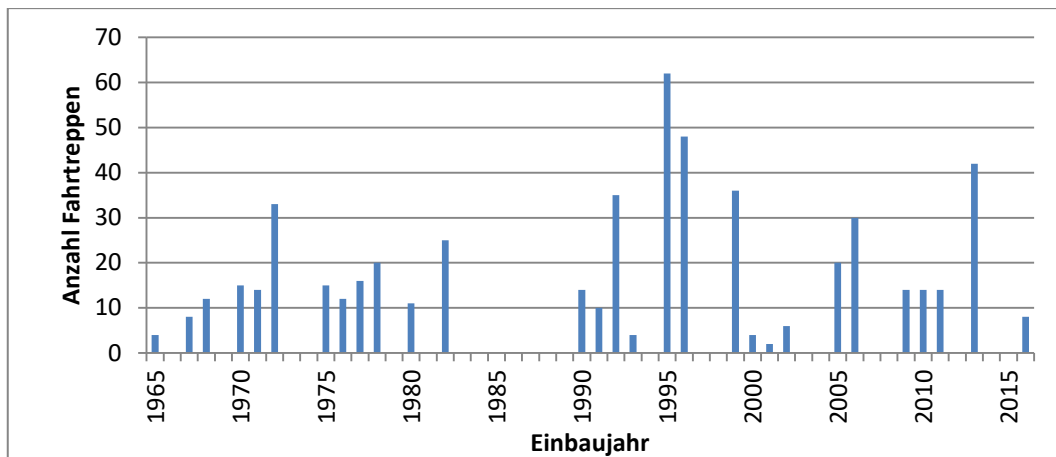


Abbildung 5-8: Anzahl aufgenommener Fahrtreppen je abgelesenem oder geschätztem Einbaujahr.

Wie in der Entwicklung der Modernisierungsszenarien in Kapitel 5.2.3.3 festgestellt, richtet sich der Fahrtreppenaustausch in der Regel nach den ältesten vorhandenen Geräten. Müssen diese ausgetauscht werden, so ist es aufgrund des notwendigen baulichen Aufwands und der Einschränkungen im Betrieb wirtschaftlicher, auch etwas neuere Geräte direkt mit auszutauschen. Daher werden in Abbildung 5-9 alle Fahrtreppen dem Einbaujahr der ältesten in ihrer Filiale vorhandenen Fahrtreppe zugewiesen. Damit verschieben sich die Balken des Diagramms generell etwas in Richtung der älteren Einbaujahre, die Häufungen bleiben jedoch weiterhin erkennbar.

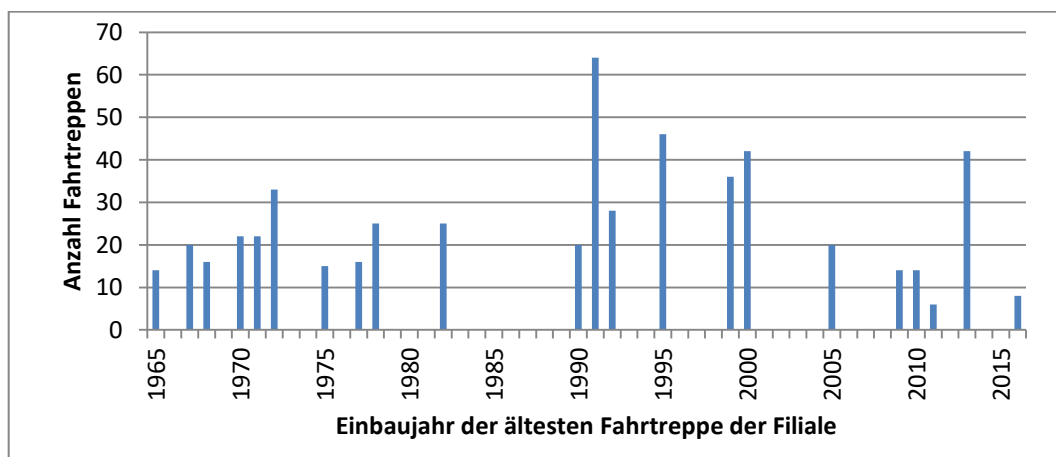


Abbildung 5-9: Anzahl der aufgenommenen Fahrtreppen je Einbaujahr der ältesten Fahrtreppe der Filiale, abgelesen oder geschätzt.

Mangels flächendeckender Daten sowohl zu den Einbaujahren der Fahrtreppen als auch zu den Baujahren der Filialen wird die Altersverteilung der Stichprobe von 560 Fahrtreppen auf die Gesamtheit von ca. 3.061 Fahrtreppen hochgerechnet. Dazu werden die Fahrtreppen zunächst in Altersklassen einer Dauer von jeweils fünf Jahren gruppiert. Dies ist nötig, um starke Schwankungen durch einzelne Jahre ohne aufgenommene Fahrtreppen auszugleichen. Im entstehenden Diagramm wird dann eine polynomische Trendlinie 6. Grades eingefügt wie in Abbildung 5-10 gezeigt.

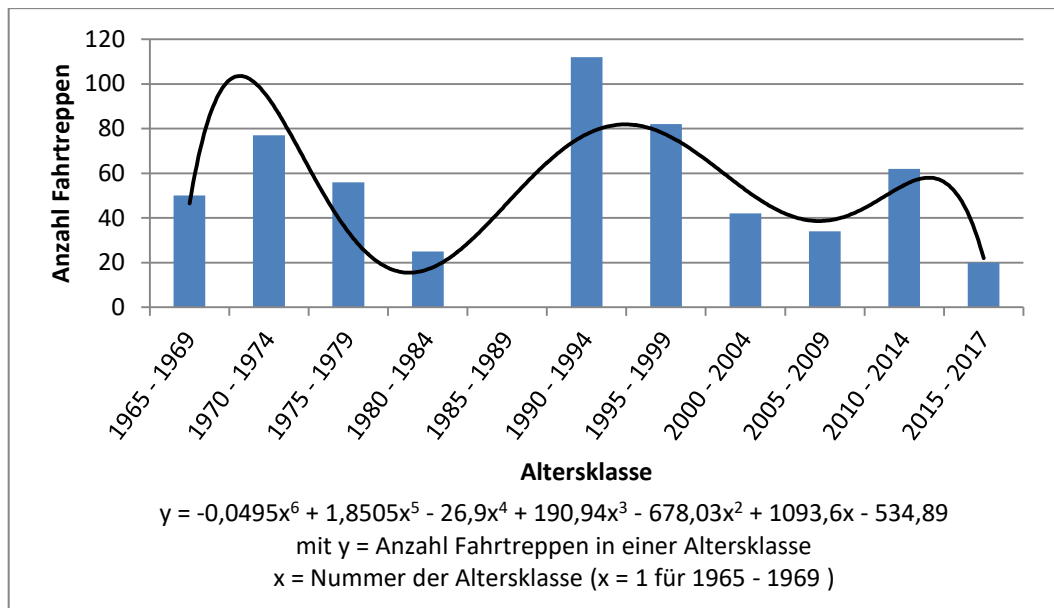


Abbildung 5-10: Fahrtreppen gruppiert nach Altersklasse der jeweils ältesten Fahrtreppe einer Filiale mit polynomischer Trendlinie 6. Grades.

Eine Aufsummierung der Fahrtreppen jeder Altersklasse nach der in der Abbildung angegebenen Funktionsgleichung ergibt 3.247 Fahrtreppen. Die Hochrechnung der Fahrtreppenanzahl geht jedoch von 3.061 Fahrtreppen aus. Daher wird die Formel für die Anzahl der Fahrtreppen je Altersklasse entsprechend skaliert um den Faktor 3.061/3.247. Somit erhält man die in Abbildung 5-11 dargestellte vereinfachte Verteilung der Fahrtreppen nach Einbaujahr der ältesten Fahrtreppe als Hochrechnung für Deutschland. Die drei Maxima sind weiterhin zu erkennen, nun wurde jedoch eine gleichmäßigere Verteilung über alle Jahre simuliert, um geeignete Näherungsformeln ermitteln zu können. Die genauen Zahlenwerte sind in Anhang A2.1 angegeben.

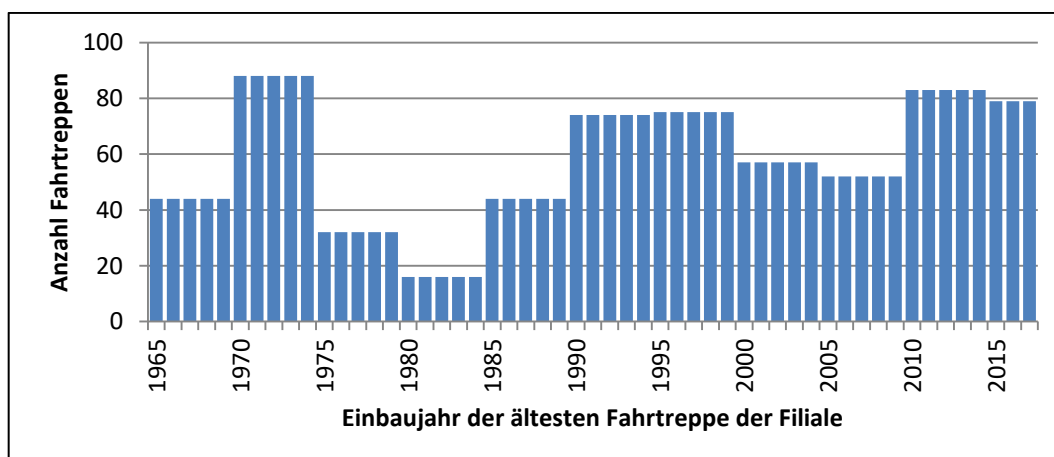


Abbildung 5-11: Fahrtreppen gruppiert nach Altersklasse der jeweils ältesten Fahrtreppe, Hochrechnung auf alle Fahrtreppen in Warenhäusern außerhalb von Einkaufszentren.

Die ältesten der bei den Gebäudeaufnahmen ermittelten Fahrtreppen stammen aus den späten 1960er Jahren, als sich Fahrtreppen in Warenhäusern durchzusetzen begannen. Soweit ein Alter der ausgetauschten Fahrtreppen in den recherchierten Zeitungsmeldungen angegeben war, betrug dieses meist um 50 Jahre, was dem Alter dieser ältesten aufgefundenen Fahrtreppen entspricht.¹² Es wird daher angenommen, dass 50 Jahre die durchschnittliche Nutzungsdauer von Fahrtreppen in Warenhäusern darstellt. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die Fahrtreppen nach einer

¹² Quellen siehe Kapitel 5.2.3.3.

Normalverteilung entfernt werden, bei der der Erwartungswert besagte $\mu = 50$ Jahre beträgt. Als Standardabweichung wird $\sigma = 5$ Jahre angenommen, d.h. 68% der Fahrtreppen haben eine Nutzungsdauer zwischen 45 bis 55 Jahren.

Mit der Normalverteilungsfunktion kann dann für jedes kommende Jahr berechnet werden, wie viele Fahrtreppen vermutlich ausgetauscht werden. Dazu wird als Eingangswert jedoch nicht der in Abbildung 5-11 dargestellte hochgerechnete aktuelle Bestand an Fahrtreppen benötigt, sondern der angenommene Fahrtreppeninput im jeweiligen Einbaujahr. Dies kann über die Dichtefunktion der Normalverteilung ermittelt werden:

$$x_i = x_{i\ 2016} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot e^{-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

mit

x_i	im Einbaujahr eingebaute Fahrtreppen nach Modellrechnung in Stück
$x_{i\ 2016}$	im Basisjahr 2016 noch bestehende Fahrtreppen laut Hochrechnung in Stück
σ	Standardabweichung 5 Jahre
y	Alter der Fahrtreppe im Jahr 2016 (d.h. 2016 - Einbaujahr) in Jahren
μ	Erwartungswert 50 Jahre

So sind beispielsweise die noch vorhandenen 44 Fahrtreppen aus dem Einbaujahr 1967 derzeit 50 Jahre alt. Dies entspricht genau dem Erwartungswert, d.h. dass derzeit in der Modellrechnung noch 50% der Fahrtreppen aus 1967 bestehen. Demnach wurden damals nach der Modellrechnung 88 Fahrtreppen eingebaut. Die auszutauschenden Fahrtreppen pro Einbaujahr und für jedes Jahr bis 2040 werden anschließend aus folgender Normalverteilung ermittelt:

$$x_{i\ \text{aus}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu}{\sigma}\right)^2} \cdot x_i \quad (3)$$

mit

$x_{i\ \text{aus}}$	Anzahl der im spezifischen Jahr auszutauschenden Fahrtreppen in Stück
σ	Standardabweichung 5 Jahre
y	Alter der Fahrtreppe (d.h. aktuelles Jahr - Einbaujahr) in Jahren
μ	Erwartungswert 50 Jahre
x_i	im Einbaujahr eingebaute Fahrtreppen nach Modellrechnung in Stück

In Abbildung 5-12 ist die entstehende Funktion beispielhaft für Fahrtreppen aus Filialen dargestellt, deren älteste Fahrtreppe 1974 eingebaut wurde. Es ist zu erkennen, dass von diesen Fahrtreppen erst relativ wenige Geräte ausgetauscht wurden. 2024 wird das Alter der noch bestehenden Fahrtreppen den Erwartungswert erreicht haben, zu diesem Zeitpunkt ist der stärkste Austausch zu erwarten. Danach werden Jahr für Jahr weniger Fahrtreppen ausgetauscht, bis schließlich keine aus diesem Einbaujahr mehr vorhanden sind.

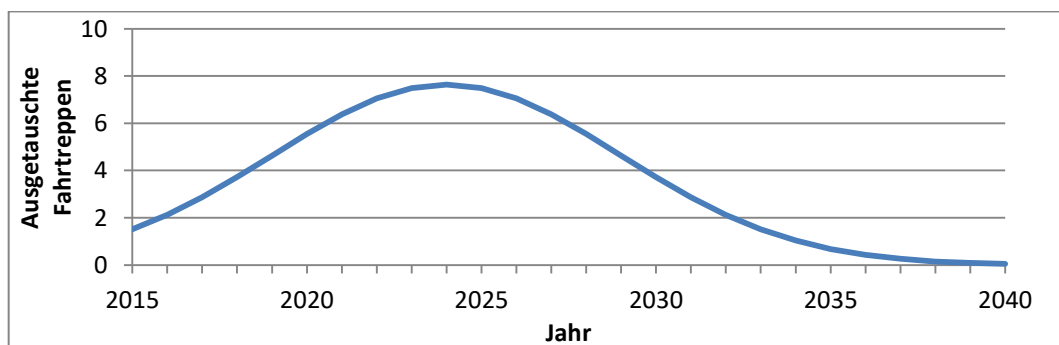


Abbildung 5-12: Ausgetauschte Fahrtreppen aus Filialen, in welche die älteste Fahrtreppe 1974 eingebaut wurde.

Werden die Funktionen aller Einbaujahre aufaddiert, so ergibt sich die in Abbildung 5-13 dargestellte Entwicklung. Ungenauigkeiten der Fahrtreppen eines einzelnen Einbaujahres werden dabei ausgeglichen. Einbaujahre nach 1999 sind nicht mehr dargestellt, da diese in der Regel noch nicht ausgetauscht werden.

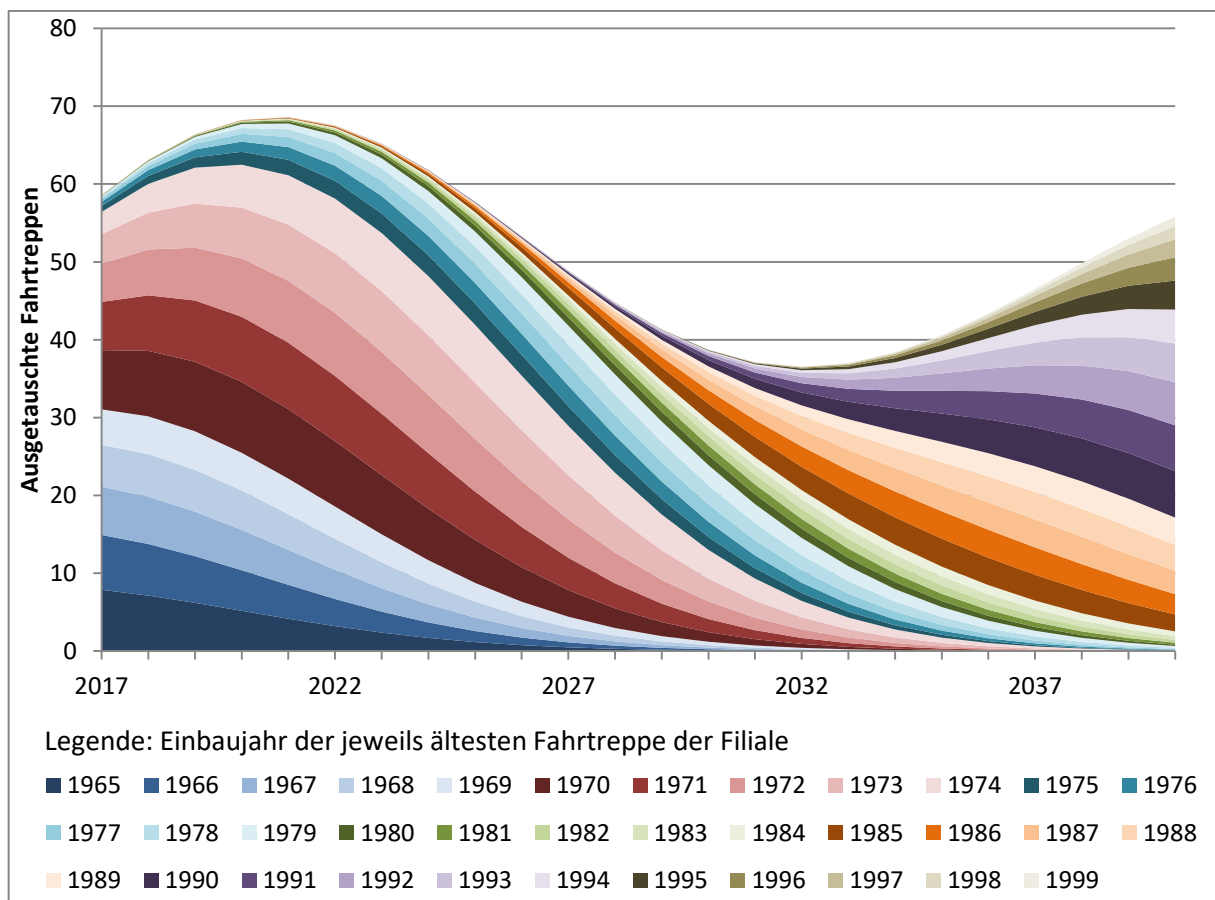


Abbildung 5-13: Annahme des zukünftigen Austauschs von Fahrtreppen zum Ende der Nutzungsdauer in Warenhäusern.

Es ist zu erkennen, dass bedingt durch die Häufungen einiger Einbaujahre auch Häufungen bei den Ausbaujahren entstehen, auch wenn diese nun breiter gestreut sind und dadurch auch ineinander übergehen. Die erste Häufung der auszutauschenden Fahrtreppen betrifft hauptsächlich die noch im Zeitraum 1965 bis 1982 eingebaute Kohorte, während in den 2030er Jahren schließlich mit dem Austausch der Fahrtreppen der Kohorte ab ca. 1990 begonnen wird, woraus eine weitere Häufung entsteht.

Bei dieser Betrachtung wurden bislang Gebäudeabgänge nicht berücksichtigt. Tatsächlich verringert sich die Anzahl auszutauschender Fahrtreppen, da sich ein Teil davon in Warenhäusern befindet, welche innerhalb des Betrachtungszeitraums abgebrochen oder umgenutzt werden. Diese Fahrtreppen müssen am Ende ihrer Nutzungsdauer nicht ersetzt werden. Sie werden von den auszutauschenden Fahrtreppen abgezogen, wie in der Berechnung des Teilmodells in Kapitel 5.2.8.2 erläutert.

5.2.6 Rohstoffgehalte Stahl sowie Aluminium

Als Bezugswert für den Umrechnungsfaktor Rohstoffgehalt muss zunächst eine fiktive, durchschnittliche Fahrtreppe für Warenhäuser modelliert werden. Aus dieser wird ausgehend von Näherungsformeln zum Rohstoffgehalt der masseintensivsten Komponenten ein Rohstoffgehalt für Stahl sowie Aluminium überschlägig berechnet.

Insgesamt wurden 476 Fahrtreppen aus 23 Filialen von Kaufhof und Karstadt abgemessen. Aus den Abmessungen wurden die in Tabelle 5-6 aufgelisteten Mittelwerte für Fahrtreppen aus Warenhäusern

generiert. Dies entspricht den Abmessungen der fiktiven durchschnittlichen Fahrtreppe für Warenhäuser.

Tabelle 5-6: Mittelwerte der Fahrtreppenabmessungen aus Gebäudeaufnahmen bei Warenhäusern

Variable	Bezeichnung	Mittelwert	Bemerkung
H	Förderhöhe	4,21 m	-
g	Stufenhöhe	21,97 cm	34,5% mit 20 cm, 65,5% mit 23 cm, kein Zusammenhang zwischen Stufenhöhe und Einbaujahr erkennbar
h	Stufentiefe	40 cm	einheitlich
w	Stufenbreite	98,95 cm	95,6% mit 100 cm, 3,6% mit 80 cm, 0,8% mit 60 cm, Stufen mit 60 cm aus den 1960er Jahren, ansonsten kein Zusammenhang zum Einbaujahr erkennbar
α	Steigungswinkel	33,3°	siehe Bemerkung Stufenhöhe
l'	Hypotenuse des Förderbereichs	7,67 m	Hypotenuse des Dreiecks aus Förderhöhe, Stufen und Fahrtreppenlänge, d.h. „schräge Länge“, ermittelt aus $H / \sin \alpha$

Die prozentualen Anteile verschiedener Hersteller können helfen, die Rechnung zu präzisieren, indem die Rohstoffkennwerte anteilig aus Angaben der verschiedenen Hersteller zusammengesetzt werden. Daher wurden bei der Gebäudeaufnahme zunächst auch die Logos der Hersteller vermerkt. Da diese jedoch nicht in ausreichender Zahl Daten zu Rohstoffgehalten bereitstellen konnten, entfällt dieser präzisierende Schritt für das Berechnungsbeispiel.

Für die Berechnung werden, sofern nicht anders angegeben, die Näherungsformeln nach (Xu 2014) verwendet. Zunächst werden mittels Formel (4) und (5) die Längen der beiden Rahmen und der Verbindungsteile ermittelt, aus denen das stählerne Traggerüst besteht. Aus Formel (6) kann damit das Gewicht m_G des Traggerüsts berechnet werden. Eine Übersicht der Abmessungen a , b , c , d und D nach (Xu 2014) befindet sich in Anhang A3. Es wurde, sofern nicht anders angegeben, jeweils der Mittelwert verwendet. Für die Rahmen und Verbindungsteile wurden Profile mit einer Höhe von 10 cm angenommen, die längenbezogenen Massen wurden aus (DIN 1026-2) entnommen.

$$L_R = (2 \cdot l' + a + b + c + d) \cdot 2 = 49,58 \text{ m} \quad (4)$$

$$L_V = (2,41 \cdot (l' + a) + e + f) \cdot 2 + 2,41 \cdot (l' + b + d) + D = 83,11 \text{ m} \quad (5)$$

mit

- L_R Länge beider Rahmen in m
- L_V Länge der Verbindungsteile in m
- l' Hypotenuse des Förderbereichs der Fahrtreppe = 7,67 m
- a Oberkantenlänge der Umkehrstation = 2,241 m
- b Unterkantenlänge der Umkehrstation = 2,302 m
- c Oberkantenlänge der Antriebsstation = 2,511 m
- d Unterkantenlänge der Antriebsstation = 2,397 m
- e Höhe des Traggerüsts im mittleren Bereich = 0,951 m
- f Höhe des Traggerüsts im oberen und unteren Bereich = 1,05 m
- D Fahrtreppenbreite = Stufenbreite w + 0,54 m = 1,53 m

$$m_G = L_R \cdot m_R + L_V \cdot m_V = 1303,00 \text{ kg} \quad (6)$$

mit

- m_G Gesamtmasse des Traggerüsts in kg
- m_G längenbezogene Masse der Rahmen = 9,82 kg/m
- m_G längenbezogene Masse der Verbindungsteile = 9,82 kg/m

Die Anzahl n der Stufen berechnet sich nach Formel (7).¹³ Den Annahmen für n_h und n_U liegen Erfahrungen aus Gebäudeaufnahmen zugrunde, bei denen auch einzelne in Reparatur befindliche, offen stehende Umlenk- und Antriebsbereiche eingesehen werden konnten.

$$n = 2 \cdot \left(\frac{H}{g} + n_h \right) + n_U = 56,3 \text{ Stück} \quad (7)$$

mit

n Anzahl der Stufen in Stück

H Förderhöhe = 4,21 m

g Stufenhöhe = 21,97 cm

n_h Stufen in horizontalen Bereichen oben und unten, Annahme: 6 Stück

n_U Stufen in Umlenk- und Antriebsbereich, Annahme: 6 Stück

Die Masse m'_{st} der einzelnen Stufen aus Aluminium bzw. Stahl wurde nach den Werten in Anhang A3 auf den Mittelwert der Stufenbreite interpoliert. Es werden einbaujahresabhängige Rohstoffgehalte angenommen (Kapitel 5.1.4). Die entsprechende Zusammensetzung je Altersklasse sowie die Aluminium- bzw. Stahlgehalte der Stufen sind in Tabelle 5-7 dargestellt.

Tabelle 5-7: Rohstoffgehalte einzelner Fahrtreppenstufen sowie aller Stufen der durchschnittlichen Fahrtreppe eines Warenhauses

Altersklasse	Aluminium-anteil	Aluminium-gehalt einer Stufe in kg	Aluminium-gehalt aller Stufen in kg	Stahlanteil	Stahlgehalt einer Stufe in kg	Stahlgehalt aller Stufen in kg
bis 1980	0%	0	0	100%	19,84	1117,44
1981 bis 1990	50%	5,95	334,94	50%	9,92	558,72
ab 1991	100%	11,89	669,87	0%	0	0

Für die beiden Förderketten wird jeweils eine Masse m'_K von 2,68 kg Stahl pro Stufe angenommen. Dies entspricht dem Mittelwert der Förderketten der Firma KÖBO-DONGHUA (Xu 2014). Somit berechnet sich das Gesamtgewicht m_K der Förderketten nach Formel (8).

$$m_K = 2 \cdot n \cdot m'_K = 301,85 \text{ kg} \quad (8)$$

mit

m_K Gesamtmasse der Förderketten in kg

n Anzahl der Stufen = 56,3 Stück

m'_K Masse einer Förderkette je Stufe = 2,68 kg/Stück

Für die Laufschienen der Förderketten wird als Länge pro Seite jeweils die Hypotenuse des Dreiecks aus Förderhöhe, Stufen und Fahrtreppenlänge für sowohl die sichtbaren als auch für die zurückzuführenden Stufen veranschlagt. Hinzugaddiert werden insgesamt 8 m für die Umlenkbereiche sowie die horizontal laufenden Stufen der Antrittsbereiche.¹⁴ Angenommen wird ein U-Profil mit einer Höhe von 40 mm (Xu 2014). Die Stahlmasse m_S der Laufschienen berechnet sich nach Formel (9), d.h. wie bereits die Masse des Traggerüsts durch Multiplikation mit der längenbezogenen Masse.

$$m_S = (2 \cdot 2 \cdot l' + 8m) \cdot m'_S = 188,37 \text{ kg} \quad (9)$$

mit

m_S Gesamtmasse der Laufschienen in kg

l' Hypotenuse des Förderbereichs der Fahrtreppe = 7,67 m

m'_S längenbezogene Masse der Laufschienen = 4,87 kg/m (Xu 2014)

¹³ Diese wurde nicht direkt aus (Xu 2014) übernommen, sondern ergänzt um die dort nicht berücksichtigten Stufen im Umlenk- und Antriebsbereich sowie um die Stufen, welche sich in rücklaufender Richtung im horizontalen Bereich befinden.

¹⁴ In (Xu 2014) wurden lediglich insgesamt 4 m für die Antrittsbereiche hinzugaddiert und die Umlenkbereiche außer Acht gelassen.

Für die Antritts- und Kammplatten wird insgesamt genähert eine Länge von 1,5 m, eine Breite entsprechend der Fahrtreppenbreite D , d.h. in diesem Fall 1,53 m, sowie eine Dicke von durchschnittlich 0,3 cm angenommen. Das Volumen der Platten je Antrittsbereich entspricht somit $0,0138 \text{ m}^3$. Es wird für Aluminiumdruckguss eine Dichte von $2.691,67 \text{ kg/m}^3$ angenommen, was dem Mittelwert verschiedener Legierungen des Herstellers Sydow entspricht (Sydow-Druckguss GmbH 2017). Für Antrittsplatten aus Stahl wird eine Dichte von 7.852 kg/m^3 veranschlagt (H. Sigrist und Partner AG 2017). Bei den angenommenen Anteilen von Aluminiumdruckguss bzw. Stahl ergeben sich damit die in Tabelle 5-8 aufgelisteten Massen der Antrittsplatten für die verschiedenen Altersklassen.

Tabelle 5-8: Rohstoffgehalte der Antritts- und Kammplatten verschiedener Altersklassen

Altersklasse	Aluminiumanteil	Aluminiumgehalt beider Antritts-/Kammplatten in kg	Stahlanteil	Stahlgehalt beider Antritts-/Kammplatten in kg
bis 1980	0%	0	100%	108,12
1981 bis 1990	25%	9,27	75%	81,09
ab 1991	50%	18,53	50%	54,06

Für die vier Antriebs- bzw. Umlenkräder der Förderkette kann bei einer „durchschnittlichen Förderhöhe“ eine Masse von jeweils 350 kg Stahl angenommen werden (Xu 2014). Da keine weiteren Informationen zur Abhängigkeit der Masse von der Förderhöhe vorliegen, werden generell 350 kg angenommen, d.h. insgesamt 1.400 kg. Da dies der durchschnittlichen Masse entsprechen soll, gleichen sich eventuelle Fehler im Endergebnis über alle Fahrtreppen aus. Für die ebenfalls vier Antriebs- und Umlenkräder des Handlaufs wird aufgrund des Durchmessers im Verhältnis zu denen der Förderkette eine Masse von jeweils 250 kg Stahl angenommen, d.h. insgesamt 1.000 kg. Zum Vergleich sind beide Rädertypen in Abbildung 5-14 dargestellt.

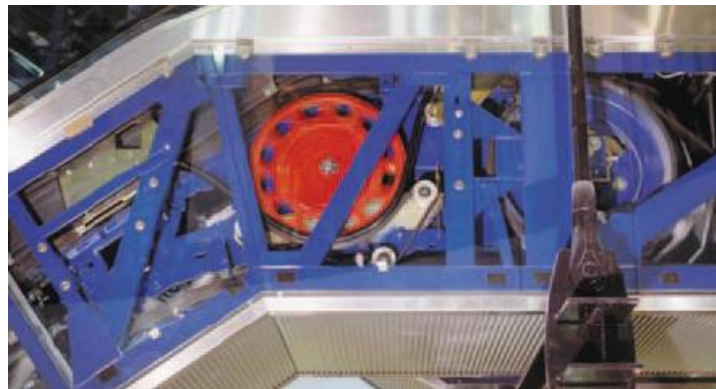


Abbildung 5-14: Antriebsrad des Handlaufs (rot) sowie der Förderkette (blau), Abbildung aus: (Unger 2013).

Die Aufsummierung aller überschlägig berechneten Rohstoffgehalte der Komponenten findet in Tabelle 5-9 statt. Das Ergebnis ist der überschlägige Aluminium- bzw. Stahlgehalt der jeweiligen Altersklasse.

Tabelle 5-9: Rohstoffgehalte der durchschnittlichen Fahrtreppen eines Warenhauses

Komponente	Altersklasse					
	bis 1980		1981 - 1990		ab 1991	
	Aluminiumgehalt in kg	Stahlgehalt in kg	Aluminiumgehalt in kg	Stahlgehalt in kg	Aluminiumgehalt in kg	Stahlgehalt in kg
Traggerüst	0	1.303,00	0	1.303,00	0	1.303,00
Stufen	0	1.117,44	334,94	558,72	669,87	0
Förderkette	0	301,85	0	301,85	0	301,85
Laufschienen	0	188,37	0	188,37	0	188,37
Antritts- und Kammplatten	0	108,12	9,27	81,09	18,53	54,06
Antriebs- und Umlenkräder	0	2.400,00	0	2.400,00	0	2.400,00
Summe	0,00	5.418,78	344,20	4.833,03	688,41	4.247,28

5.2.7 Treiber auf der Rohstoffebene

Um Modernisierungen und Reparaturen zu simulieren, werden auszutauschende Komponenten und Reparaturintervalle angenommen. Es wird bei Fahrtreppen in Warenhäusern davon ausgegangen, dass Förderkette und Laufschiene aufgrund von Abnutzung nach der Hälfte der Nutzungsdauer, d.h. nach etwa 25 Jahren ausgetauscht werden. Hinsichtlich der Antrittsplatten wurde bei den Geräteaufnahmen aufgrund der Gestaltung der Herstellerlogos geschlossen, dass diese in der Regel dem Alter der Fahrtreppe entsprechen. Der optische Eindruck der Stufen ließ auf den Austausch einzelner Stufen schließen, welche entsprechend neuwertiger aussahen. Es wird überschlägig angenommen, dass durchschnittlich eine von hundert Stufen nach ebenfalls 25 Jahren ausgetauscht wird. Für Traggerüst und Antriebs- bzw. Umlenkräder wird davon ausgegangen, dass kein Austausch notwendig wird.

In Tabelle 5-10 sind die für Reparaturen zu veranschlagenden Rohstoffgehalte der drei Altersklassen von Fahrtreppen aufgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass Stufen aus Stahl weiterhin durch selbige ersetzt werden. Die Altersklasse *bis 1980* muss nicht mehr berücksichtigt werden, da bei diesen von einem Austausch anstelle einer Reparatur ausgegangen wird.

Tabelle 5-10: Rohstoffbedarf durch Reparatur von Fahrtreppen in Warenhäusern

Komponente	Altersklasse			
	1981 - 1990		ab 1991	
	Aluminiumgehalt in kg	Stahlgehalt in kg	Aluminiumgehalt in kg	Stahlgehalt in kg
1% der Stufen	3,35	5,59	6,70	0,00
Förderkette	0,00	301,85	0,00	301,85
Laufschiene	0,00	188,37	0,00	188,37
Summe	3,35	495,81	6,70	490,22

Die Berechnung der jährlich zu reparierenden Fahrtreppen wird analog zur Berechnung der auszutauschenden Fahrtreppen am Ende ihrer Nutzungsdauer in Kapitel 5.2.5.2 durchgeführt, dabei werden in diesem Fall jedoch nur noch vorhandene Fahrtreppen berücksichtigt. Als Erwartungswert wird $\mu = 25$ Jahre angenommen sowie $\sigma = 5$ Jahre als Standardabweichung, d.h. 68% der Fahrtreppen werden nach 20 bis 30 Jahren modernisiert.

Da beim betrachteten Zeitraum bis 2040 auch Fahrtreppen aus einem zukünftigen Fahrtreppeninput modernisiert werden, wird die Berechnung für jedes Szenario separat durchgeführt. Die konkreten Werte sind in Anhang A4.1 beigefügt.

5.2.8 Berechnung des Materialflussteilmodells

Beispielhaft wird nachfolgend die Berechnung des Materialflussmodells für das Trendszenario erläutert. Für die Szenarien *Innenstadtstärkung* und *Druck* erfolgen die Berechnungen analog. Die vollständigen Berechnungstabellen für alle drei Szenarien sind in Anhang A5.1 bis A5.3 beigefügt. Die Ergebnisse der Modelle aller Szenarien werden im nachfolgenden Kapitel 5.2.9 diskutiert und gegenübergestellt.

5.2.8.1 Gebäudeebene

In Tabelle 5-11 wird zur Materialflussberechnung zuerst die Gebäudeebene betrachtet. Rot markiert sind die Eingangswerte des Verkaufsflächenbestands der drei wirtschaftlichen Perspektiven am 31. Dezember 2016. Modernisierungen werden an dieser Stelle nicht betrachtet, da die Fahrtreppen bei diesen in der Regel nur dann ausgetauscht werden, wenn sie das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht haben (Kapitel 5.2.3.3). Dies wird auf der Betrachtungsebene *Gebäudetechnik* berücksichtigt.

Die Inputs ergeben sich aus der hinzugewonnenen Verkaufsfläche durch Ausbau, d.h. Flächenerweiterungen bestehender Filialen, sowie durch Neueröffnungen. Um das Einbaujahr weiterhin konsistent als Beginn der Nutzungsdauer beizubehalten, wird die Bautätigkeit für Neueröffnungen einkalkuliert, bevor die Filialen eröffnet werden. Daher wird jeweils die Hälfte der Verkaufsfläche eines Jahres im selben Jahr bzw. im vorangegangenen Jahr angenommen. Die Summe

der Inputs ergibt sich in „Input gesamt“ durch Addition des Ausbaus mit dem im gleichen Jahr stattfindenden Umbau für Neueröffnungen. In diesem Szenario wird ein Ausbau von zwei Filialen zu insgesamt 17.000 m² über zwei Jahre angenommen sowie Neueröffnungen von 2018 bis 2024. Dabei werden jedes Jahr fünf Filialen eröffnet, im letzten Jahr jedoch nur vier, um auf die Gesamtsumme von 34 Neueröffnungen außerhalb von Einkaufszentren zu kommen. Die Verkaufsflächen der ersten fünf Filialen waren konkret bekannt, die der weiteren wurden auf einen Durchschnittswert geschätzt.

Zur Ermittlung der Outputs wird zunächst für jedes Jahr die im Szenario angenommene geschlossene Verkaufsfläche pro wirtschaftlicher Perspektive vom bisherigen Bestand abgezogen. In der Spalte von 2017 stehen somit die in diesem Jahr geschlossenen Verkaufsflächen sowie der sich zum 31. Dezember 2017 ergebende jeweilige Bestand. Zum Ende des Jahres 2039 ist in diesem Szenario der Bestand an Filialen der Perspektive *Rückzug* auf 6.200 m² gesunken, welche in 2040 geschlossen werden.

In „Schließung gesamt“ werden alle Schließungen des jeweiligen Jahres aufsummiert. Darunter wird der jeweilige geschätzte Anteil des Abbruchs und der Umnutzung ermittelt. Diese werden dann um die Verzögerung von 5,5 bzw. 0,5 Jahren verschoben, um die Zeit zu simulieren, die eine geschlossene Filiale in der Regel leer steht, bevor Baumaßnahmen für Umnutzung oder Abbruch durchgeführt werden. Dies geschieht, indem die Hälfte der geschlossenen Flächen um 5 und die andere um 6 Jahre weiter verschoben wird, bzw. die Hälfte im selben Jahr verbleibt und die andere Hälfte in das nächste Jahr geschoben wird. Bis 2019 sind Abbruch und Umnutzung durch Ankündigung bestehender Pläne konkret abschätzbar.

In „Output gesamt“ werden die beiden verzögerten Outputs der Abbrüche und Umnutzungen mit Entfernung der Fahrtreppen addiert. Dies stellt den Output auf Gebäudeebene dar. Schließlich kann das Gebäudelager ermittelt werden. Zu beachten ist, dass dieses nicht der Summe der Verkaufsflächen der Bestandsfilialen entspricht. Es beinhaltet alle Warenhausimmobilien mit Fahrtreppen darin, d.h. auch die bereits leer stehenden geschlossenen Filialen, welche auf eine Umnutzung oder einen Abbruch warten. Für den Startwert am 31. Dezember 2016 werden daher zur Verkaufsfläche des Filialbestands noch die Verkaufsflächen der geschlossenen und noch nicht abgebrochenen bzw. umgenutzten Filialen hinzugezählt, dies sind 38.700 m². Für die weiteren Jahre erfolgt die Berechnung durch Subtraktion des jeweiligen Gesamtoutputs und Addition des Gesamtinputs.

Tabelle 5-11: Berechnung der Gebäudeebene für das Teilmodell Warenhäuser im Trendszenario

Input in m ² Verkaufsfläche					...	2037	2038	2039	2040
Ausbau		8.500	8.500	0		0	0	0	0
Neueröffnung „Saks Off 5th“ (Stück)		0	24.900 (5)	15.000 (5)		0	0	0	0
davon Umbau für Eröffnung		12.450	19.950	15.000		0	0	0	0
Input gesamt		20.950	28.450	15.000	...	0	0	0	0

Output in m ² Verkaufsfläche					...	2037	2038	2039	2040
Filialschließungen									
Bestand <i>Rückzug</i> -Filialen	631.400	591.400	564.800	538.200		59.400	32.800	6.200	0
Schließung <i>Rückzug</i>		40.000	26.600	26.600		26.600	26.600	26.600	6.200
Bestand <i>Anfälligkeit</i> -Filialen	379.300	379.300	379.300	379.300		379.300	379.300	379.300	379.300
Schließung <i>Anfälligkeit</i>		0	0	0		0	0	0	0
Bestand <i>Ausbau</i> -Filialen	1.335.050	1.296.050	1.296.050	1.296.050		1.296.050	1.296.050	1.296.050	1.296.050
Schließung <i>Ausbau</i>		39.000	0	0		0	0	0	0
Schließung gesamt		79.000	26.600	26.600	...	26.600	26.600	26.600	6.200
davon 20% Abbruch		15.800	5.320	5.320		5.320	5.320	5.320	1.240
mit Verzögerung 5,5 a		0	17.000	0		5.320	5.320	5.320	5.320
davon 74% Umnutzung mit Entfernung der Fahrtreppen		58.460	19.684	19.684		19.684	19.684	19.684	4.588
mit Verzögerung 0,5a		29.230	39.072	19.684		19.684	19.684	19.684	12.136
Output gesamt		29.230	56.072	19.684	...	25.004	25.004	25.004	17.456

Lager in m ² Verkaufsfläche					...	2037	2038	2039	2040
Lager	2.384.450	2.376.170	2.348.548	2.343.864	...	1.961.112	1.936.108	1.911.104	1.893.648

Die Entwicklung der Inputs und Outputs auf Gebäudeebene wird in Kapitel 5.2.9 grafisch dargestellt und mit den Entwicklungen der anderen beiden Szenarien verglichen.

5.2.8.2 Gebäudetechnikebene

Die Berechnung auf Gebäudetechnikebene erfolgt in Tabelle 5-12. Es werden zunächst die Inputs bzw. Outputs der vorangehend berechneten Gebäudeebene berücksichtigt. Nach Formel (1) aus Kapitel 5.2.4 wird die jeweilige Verkaufsfläche in die Anzahl der Fahrtreppen umgerechnet.

Hinzu kommen jeweils die Fahrtreppen, welche aufgrund des Endes ihrer Nutzungsdauer ausgebaut bzw. als Ersatz für veraltete Fahrtreppen neu eingebaut wurden. Die dazu benötigten Werte ergeben sich aus der Berechnung in Kapitel 5.2.5.2. Am Ende ihrer Nutzungsdauer stehende Fahrtreppen in abzubrechenden oder umzunutzenden Immobilien könnten an dieser Stelle möglicherweise doppelt berechnet werden. Um dies zu vermeiden, wird bei den älteren Fahrtreppen der Altersklasse *vor 1980* der Fahrtreppenoutput aufgrund der Gebäudeebene von den auszutauschenden Fahrtreppen abgezogen. Dieses Vorgehen entspricht jedoch zu Beginn der Austauschzeiträume nicht exakt der Realität. Der Anteil der austauschbedürftigen Fahrtreppen und damit auch die Wahrscheinlichkeit, dass durch Gebäudeoutput zu entfernende Fahrtreppen ebenfalls zeitnah ausgetauscht werden müssten, ist noch verhältnismäßig klein. Dies trifft vor allem für Fahrtreppen der Altersklassen *1981 bis 1990* und *ab 1990* zu, sodass für diese kein Abzug berücksichtigt wird.

Um in der Betrachtungsebene *Rohstoffe* für verschiedene Baujahre der Fahrtreppen unterschiedliche Rohstoffgehalte verwenden zu können, müssen die Outputs nach den drei betrachteten Altersklassen differenziert werden. Für Outputs durch Veränderungen der Gebäudeebene muss eine Annahme getroffen werden. Da nicht bekannt ist, welches Alter die Fahrtreppen in den zu schließenden Filialen haben, wird je Altersklasse der derzeitige prozentuale Anteil am Gesamtbestand verwendet. Sobald der Bestand einer Altersklasse auf 0 fällt, wird der fehlende Output überschlägig auf die anderen Altersklassen aufgeteilt. Inputs von Fahrtreppen müssen nicht differenziert werden, da diese alle in die Altersklasse *ab 1991* fallen.

Theoretisch sind Inputs durch Zubau sowie Outputs durch Entfernung einzelner Fahrtreppen möglich. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Anzahl der vorhandenen Fahrtreppen dem Bedarf entspricht und somit keine Veränderungen an der Stückzahl vorgenommen werden. Das Lager bezieht sich hier wie auch bei der Gebäudeebene nicht nur auf die im jeweiligen Jahr im Betrieb befindlichen Filialen, sondern auch auf leer stehende ehemalige Filialen, welche noch nicht abgebrochen oder umgenutzt wurden. Im Basisjahr 2016 sind daher 3.061 Fahrtreppen zu berücksichtigen. Für die folgenden Jahre werden zur Berechnung des Lagers die Inputs hinzuaddiert und die Outputs abgezogen.

In der Darstellung stimmen teilweise die Summen nicht mit den einzelnen Inputs bzw. Outputs überein, beispielsweise beim gesamten Input im Jahr 2017. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass aus Gründen der Übersichtlichkeit und Logik keine Nachkommazahlen bei der Anzahl der Fahrtreppen dargestellt wurden. Wird jedoch über mehrere Jahre gerechnet, so ist es sinnvoll, diese in der Berechnung selbst weiterhin beizubehalten.

Die sich aus diesen Berechnungen ergebende Entwicklung der Fahrtreppen wird ebenfalls in Kapitel 5.2.9 grafisch dargestellt und mit den Entwicklungen der anderen beiden Szenarien verglichen.

Tabelle 5-12: Berechnung der Gebäudetechnikebene für das Teilmodell Warenhäuser im Trendszenario

Input in Stück									
Durchschnittsfahrtreppe	2016	2017	2018	2019	...	2037	2038	2039	2040
aus Gebäudeebene		16	26	9		0	0	0	0
Austausch nach Nutzungsende		56	51	67		27	32	36	47
Zubau Fahrtreppen		0	0	0		0	0	0	0
Input gesamt		73	77	76	...	27	32	36	47

Output in Stück

Durchschnittsfahrtreppe	2016	2017	2018	2019	...	2037	2038	2039	2040
aus Gebäudeebene		27	62	15		22	22	22	12
davon vor 1980		8	17	4		6	6	6	3
davon 1981 bis 1990		3	7	2		3	3	3	1
davon ab 1991		16	37	9		13	13	13	7
Austausch nach Nutzungsende		56	51	67		43	48	52	56
davon vor 1980 (abzüglich Gebäudeebene)		56	51	67		0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		0	0	0		25	25	24	22
davon ab 1991		0	0	0		18	23	28	34
Abbau Fahrtreppen		0	0	0		0	0	0	0
Output gesamt		83	113	82	...	65	69	73	67

Lager in Stück

Durchschnittsfahrtreppe	2016	2017	2018	2019	...	2037	2038	2039	2040
Lager	3.061	3.051	3.015	3.009	...	2.655	2.634	2.612	2.600
davon vor 1980	858	794	726	655		0	0	0	0
davon 1981 bis 1990	367	364	357	355		112	82	53	28
davon ab 1991	1.836	1.892	1.932	1.999		2.543	2.552	2.559	2.573

5.2.8.3 Rohstoffebene

In Tabelle 5-13 erfolgt als letzte Betrachtungsebene des Modells beispielhaft die Rohstoffebene für Stahl. Die Abschätzung für Aluminium ist in Anhang A5.1 in der vollständigen Berechnung des Teilmodells zu finden. Um die jeweiligen Rohstoffinputs und -outputs zu ermitteln, müssen zunächst die In- und Outputs der Altersklassen auf der Betrachtungsebene Gebäudetechnik mit den entsprechenden Rohstoffgehalten multipliziert werden. Hinzuaddiert werden je Altersklasse die in Kapitel 5.2.7 ermittelten Rohstoffe, die aufgrund von Reparaturen In- und Outputs erzeugen. Für Fahrtreppen der Altersklasse *bis 1980* ist nicht mehr mit Reparaturen zu rechnen, da diese in der Regel direkt ausgetauscht werden. Da davon ausgegangen wird, dass zu reparierende Komponenten jeweils durch gleichartig gestaltete Komponenten ersetzt werden, ändert sich das Rohstofflager durch Reparaturen nicht, obwohl Inputs und Outputs erzeugt werden.

Bereits durch Gebäudeoutputs entfernte Fahrtreppen werden in diesem Fall nicht speziell berücksichtigt. Zum einen ist der Anteil an zu reparierenden Fahrtreppen am Gesamtbestand der Altersklasse und somit auch die Wahrscheinlichkeit des Zusammenfallens von baldiger Reparaturbedürftigkeit und Entfernung aufgrund vorhergehender Betrachtungsebenen sehr gering. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass Reparaturen auch noch durchgeführt werden, wenn mittelfristig eine Schließung der Filiale geplant ist. Dafür spricht, dass eine Reparatur sowohl dringlicher als auch kostengünstiger ist als ein Austausch.

Das Rohstofflager für das Basisjahr 2016 wird ermittelt, indem der Fahrtreppenbestand je Altersklasse mit dem entsprechenden Rohstoffgehalt multipliziert wird. Für die fortlaufenden Jahre wird jeweils die Summe der Rohstoffinputs hinzuaddiert und die Summe der Rohstoffoutputs abgezogen.

Tabelle 5-13: Berechnung der Rohstoffebene Stahl für das Teilmodell Warenhäuser im Trendszenario

	2016	2017	2018	2019	...	2037	2038	2039	2040
Reparaturbedürftige Fahrtreppen in Stück		62	64	67		72	73	74	74
davon 1981 bis 1990		17	14	12		0	0	0	0
davon ab 1991		45	50	54		72	73	74	74

Input in t	2016	2017	2018	2019	...	2037	2038	2039	2040
aus Gebäudetechnikebene		314,80	333,75	328,90		185,97	205,48	223,84	240,56
Reparatur		30,39	31,46	32,22		35,18	35,75	36,11	36,21
davon 1981 bis 1990		8,42	7,05	5,71		0	0	0	0
davon ab 1991		21,98	24,41	26,51		35,18	35,75	36,11	36,21
Input gesamt		345,19	365,22	361,13	...	221,15	241,24	259,95	276,77

Output in t	2016	2017	2018	2019	...	2037	2038	2039	2040
aus Gebäudetechnikebene		438,55	571,05	440,94		295,68	314,97	332,65	304,31
davon vor 1980		354,10	378,56	394,91		0,00	0,00	0,00	0,00
davon 1981 bis 1990		15,61	35,57	8,51		150,93	149,11	143,58	121,94
davon ab 1991		68,84	156,91	37,52		144,75	165,86	189,07	182,38
Reparatur		30,39	31,46	32,22		35,18	35,75	36,11	36,21
davon 1981 bis 1990		8,42	7,05	5,71		0,00	0,00	0,00	0,00
davon ab 1991		21,98	24,41	26,51		35,18	35,75	36,11	36,21
Output gesamt		468,94	602,51	473,17	...	330,86	350,72	368,77	340,52

Lager in t	2016	2017	2018	2019	...	2037	2038	2039	2040
Lager	14.157	14.034	13.796	13.684	...	11.254	11.145	11.036	10.972

Die sich ergebende Entwicklung der Rohstoffinputs und -outputs von Stahl und Aluminium sowie deren Lager wird ebenfalls in Kapitel 5.2.9 grafisch dargestellt und mit den anderen beiden Szenarien verglichen.

Die Ermittlung der Kupferinputs, -outputs und des Kupferlagers werden aufgrund des einheitlich angenommenen mittleren Kupfergehalts von 55 kg je Fahrtreppe durch Multiplikation des Kupfergehalts mit den gesamten Fahrtreppeninputs, -outputs und dem Fahrtreppenlager des Teilmodells gebildet. Die Ergebnisse sind für alle betrachteten Teilmodelle gemeinsam in Anhang A6.2 dargestellt. Reparaturen von Fahrtreppen werden dabei nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass der Motor in der Regel nicht ausgetauscht wird und maximal einzelne Kupferkabel ersetzt werden, welche nicht relevant in die Berechnung eingehen.

5.2.9 Ergebnisse des Materialflussteilmodells

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Modelle aller drei Szenarien für Warenhäuser vorgestellt, diskutiert und einander gegenübergestellt. Die Entwicklung der Inputs und Outputs der Gebäudeebene ist für alle drei Szenarien in Abbildung 5-15 bis Abbildung 5-17 dargestellt.

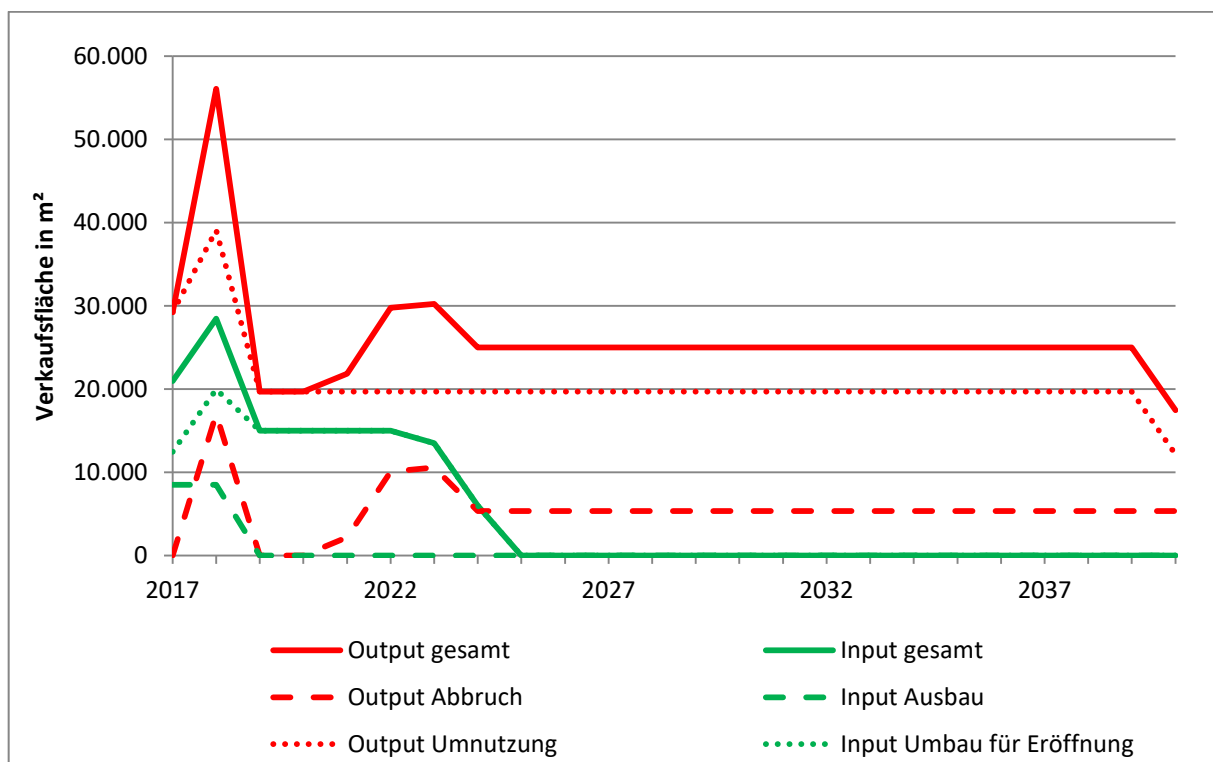


Abbildung 5-15: Gebäudeinputs und -outputs im Trendszenario für Warenhäuser.

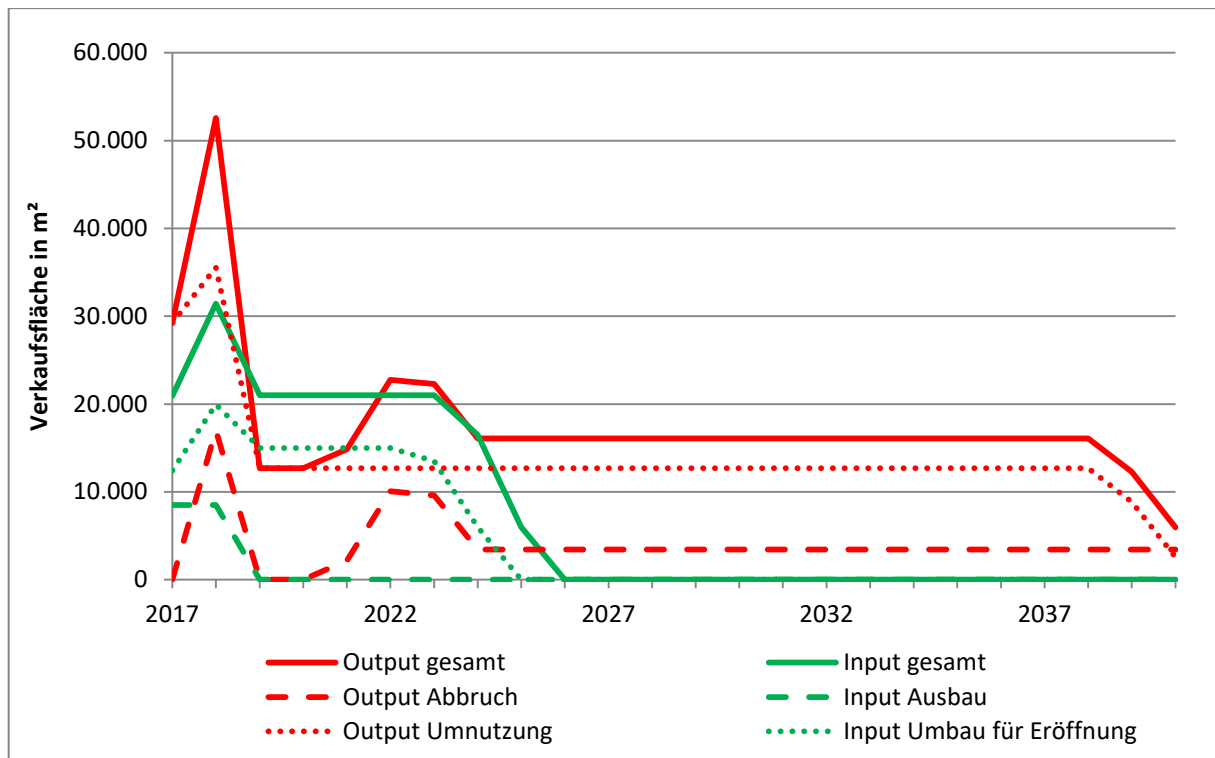


Abbildung 5-16: Gebäudeinputs und -outputs im Szenario *Innenstadtstärkung* für Warenhäuser.

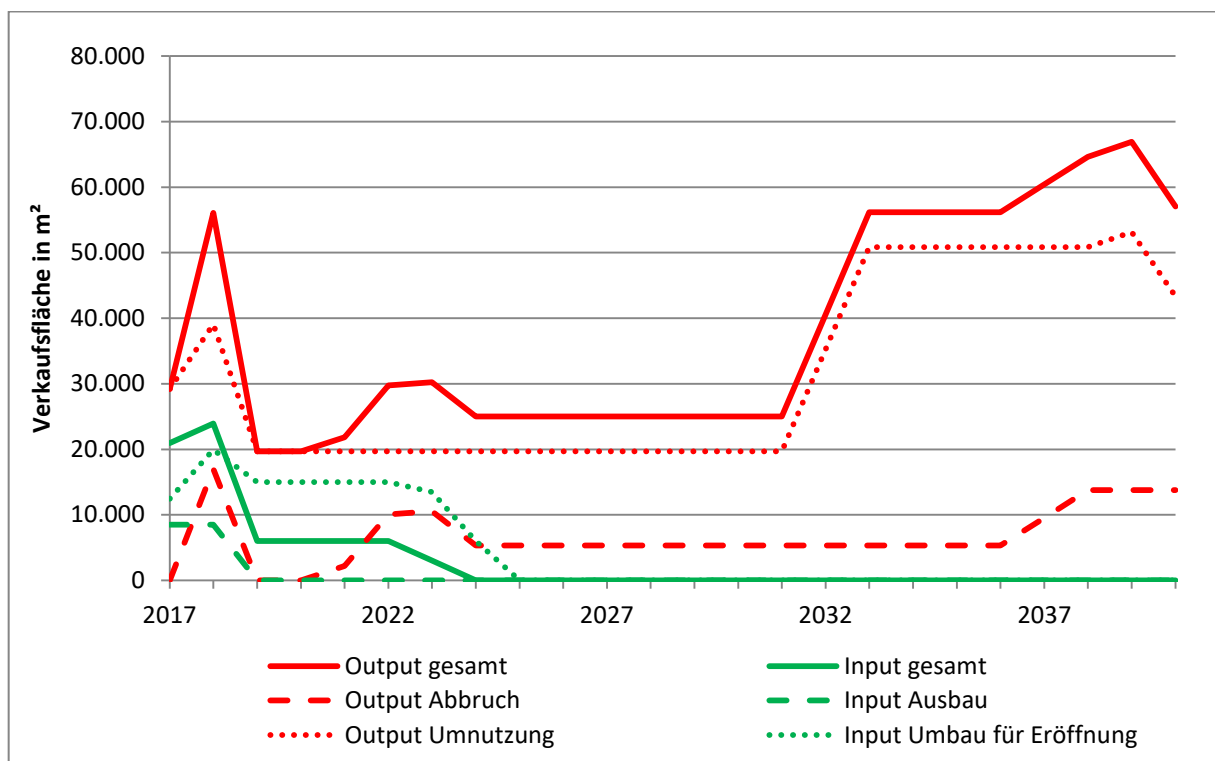


Abbildung 5-17: Gebäudeinputs und -outputs im Szenario *Druck* für Warenhäuser.

In 2017 und 2018 sind durch die geplanten Schließungen sehr großer Filialen in allen Szenarien hohe Outputs durch Umbaumaßnahmen zu erwarten. Gleichzeitig soll 2018 der Abbruch einer bereits länger leer stehenden Kaufhof-Filiale in Köln Kalk stattfinden, welche weiteren Output erzeugt. Ein weiterer Anstieg des Outputs ist um 2023 zu erkennen, dies ist der wahrscheinliche Anteil der Abbrüche der 2016 und 2017 geschlossenen Filialen, für die noch keine Nachnutzungspläne bestanden. Aufgrund der überdurchschnittlichen Filialgrößen ist auch dieser Anstieg deutlich zu

erkennen. Danach bleibt der Output aufgrund der Annahme einer konstant um einen durchschnittlichen Wert zurückgehenden Verkaufsfläche beim Trendszenario und beim Szenario *Innenstadtstärkung* über mehrere Jahre gleich groß, bis 2040 bzw. 2039 schließlich die jeweils angenommene Anzahl der kurz- bis mittelfristig schließenden Filialen erreicht wird. Im Szenario *Druck* hingegen steigen ab 2032 die Outputs noch einmal stark an infolge der Schließungen von Filialen, die aus der Perspektive *Anfälligkeit* neu in die Perspektive *Rückzug* eingestuft wurden.

Bis 2023 bzw. 2025 sind außerdem Inputs zu erkennen. Dies ist zum Teil auf die laufenden Ausbauten zweier Filialen von Kaufhof in den Jahren 2017 und 2018 zurückzuführen, zum größeren Teil jedoch auf die Umbaumaßnahmen für neu eröffnende Filialen von „Saks Off 5th“. Die Anzahl der Neueröffnungen variiert je nach Szenario. Danach werden keine Erweiterungen oder Neueröffnungen mehr erwartet, weshalb kein Input mehr entsteht.

In Abbildung 5-18 ist dargestellt, wie sich dies in den verschiedenen Szenarien auf das Lager der Gebäudeebene, d.h. die Gesamtverkaufsfläche inklusive möglicher Leerstände auswirkt.

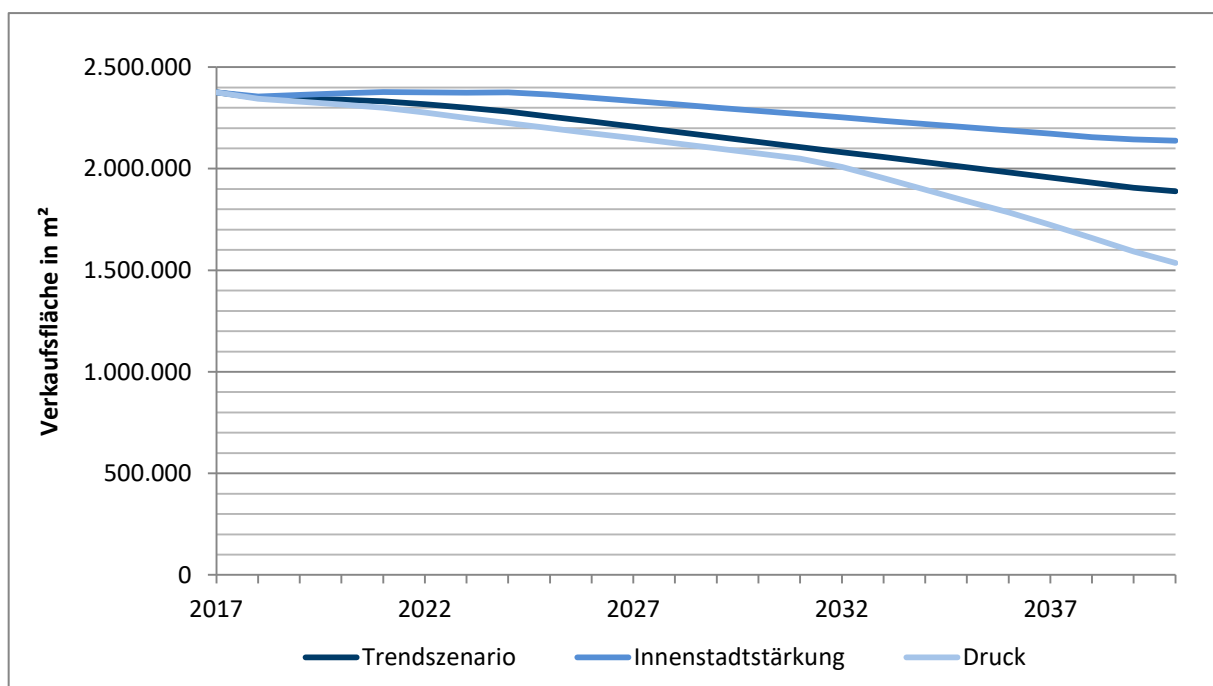


Abbildung 5-18: Entwicklung des Gebäudelagers der drei Szenarien für Warenhäuser.

Im Trendszenario sinkt die Gesamtverkaufsfläche stetig, wobei der Rückgang bis ca. 2021 durch die Neueröffnung der „Saks Off 5th“ Filialen noch etwas verlangsamt ist. Im Szenario *Innenstadtstärkung* wächst sie zunächst aufgrund der Neueröffnungen etwas, fällt danach aber ebenfalls ab. Besonders deutlich geht die Gesamtverkaufsfläche im Szenario *Druck* zurück, wobei der Rückgang ab 2032 aufgrund der Schließung der von *Anfälligkeit* in *Rückzug* neu eingestuften Filialen noch stärker wird.

In den Diagrammen der Fahrtreppeninputs und -outputs in Abbildung 5-19 bis Abbildung 5-21 finden sich zunächst die Verläufe der Inputs und Outputs auf Gebäudeebene des jeweiligen Szenarios wieder, dargestellt jeweils als grün bzw. rot gestrichelte Linien. Beide werden jedoch maßgeblich durch die auszutauschenden Fahrtreppen vergrößert, die durch die gelb gestrichelten Linien dargestellt sind. Der plötzliche Abfall der auszutauschenden Fahrtreppen im Szenario *Druck* entstammt der Hilfsannahme, dass für die Altersklasse *bis 1980* die aufgrund der Gebäudeebene zu entfernenden Fahrtreppen von den auszutauschenden abgezogen werden. In der Realität ist mit einem weichen Übergang zu rechnen. Ebenso verhält es sich mit den „Knicks“ der beiden anderen Szenarien im Jahr 1935 bzw. 1936, an denen der Bestand der Altersklasse *bis 1980* auf null sinkt, sowie zu Beginn der Betrachtung bei allen Szenarien aufgrund des hohen Gebäudeoutputs.

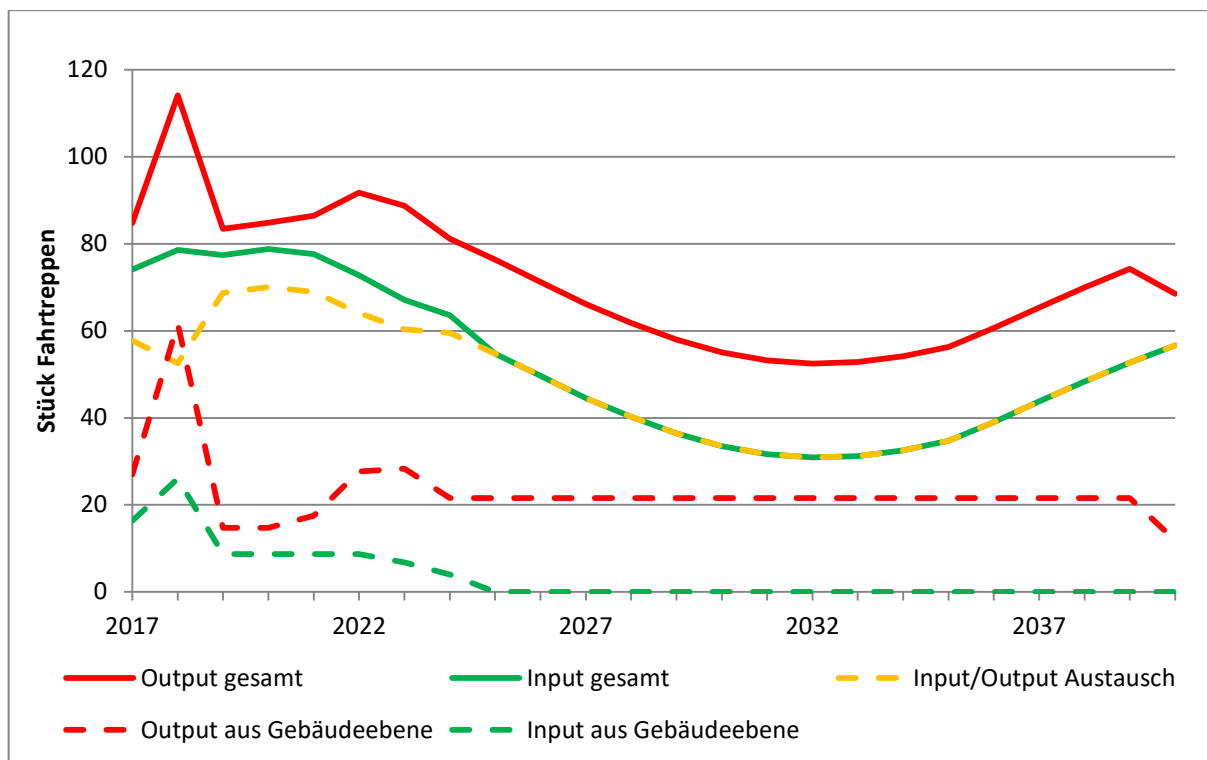


Abbildung 5-19: Fahrtreppeninputs und -outputs im Trendszenario für Warenhäuser.

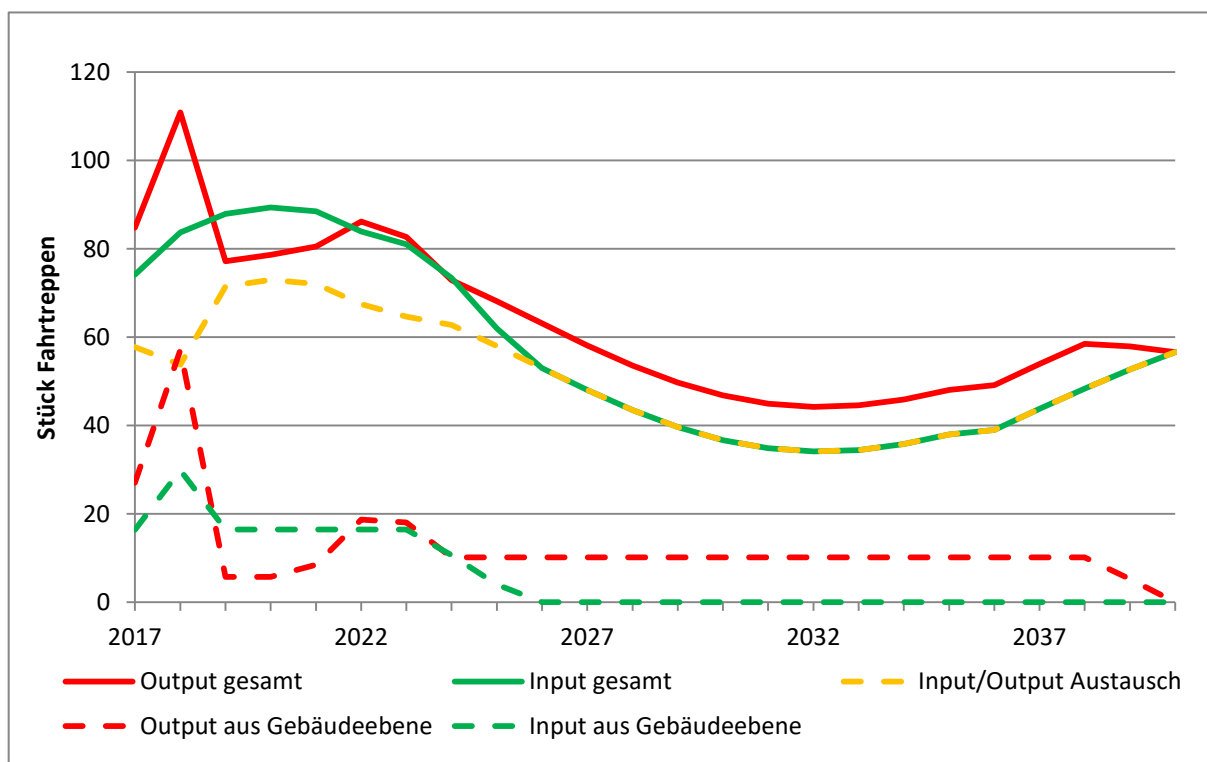


Abbildung 5-20: Fahrtreppeninputs und -outputs im Szenario *Innenstadtstärkung* für Warenhäuser.

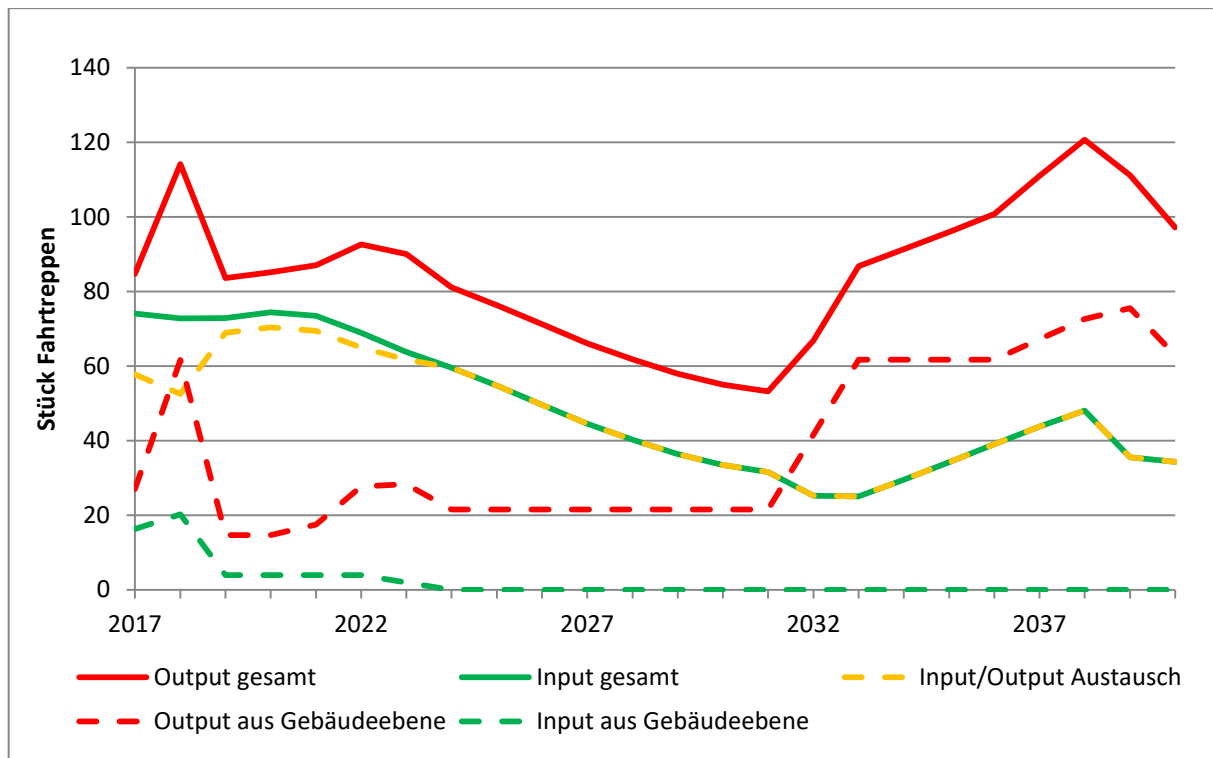


Abbildung 5-21: Fahrtreppeninputs und -outputs im Szenario *Druck* für Warenhäuser.

Die in Abbildung 5-22 dargestellten Lager der Fahrtreppen entwickeln sich proportional zum Lager der Verkaufsfläche des jeweiligen Szenarios. Dies liegt darin begründet, dass die Inputs und Outputs durch die auszuwechselnden Fahrtreppen sich gegenseitig aufheben und in den Szenarien kein Gerätezubau oder -abbau stattfindet.

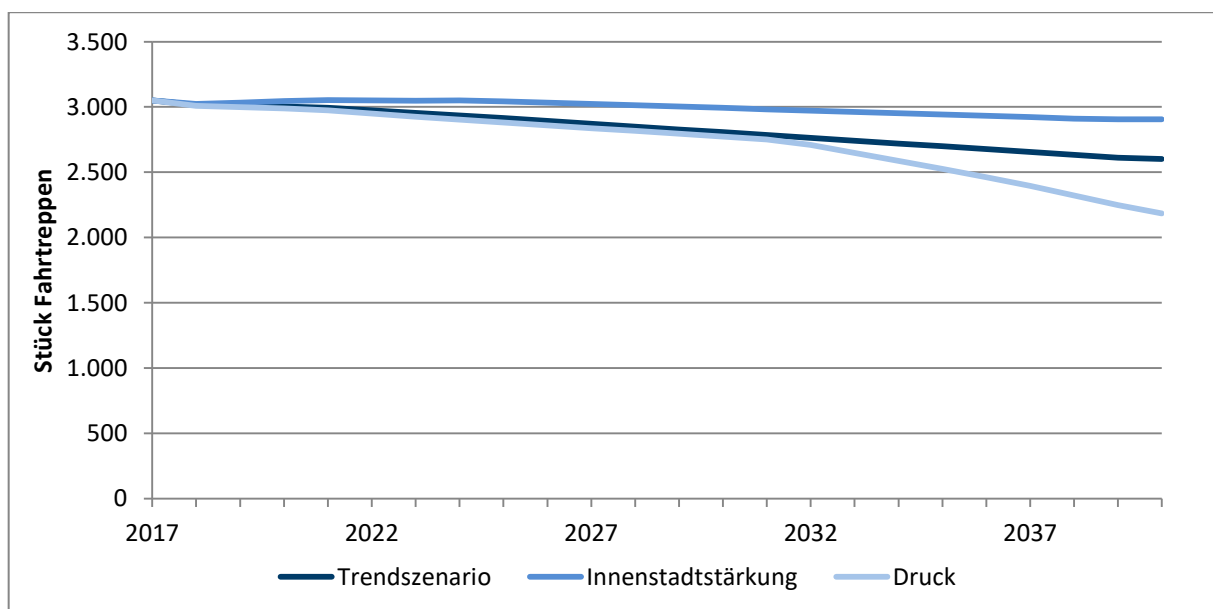


Abbildung 5-22: Entwicklung des Fahrtreppenlagers der drei Szenarien für Warenhäuser.

Die Entwicklung der Stahlinputs und -outputs aller drei Szenarien ist in Abbildung 5-23 dargestellt. Sie entspricht vom Prinzip her den Fahrtreppenoutputs, ist jedoch bedingt durch unterschiedliche Rohstoffgehalte der unterschiedlichen Altersklassen und durch zusätzliche Rohstoffströme für Reparaturen modifiziert. Im Szenario *Druck* wird bedingt durch die Schließungen vieler Filialen der höchste Stahl-Output und gleichzeitig durch nicht mehr notwendigen Austausch von Fahrtreppen der niedrigste Input erzeugt.

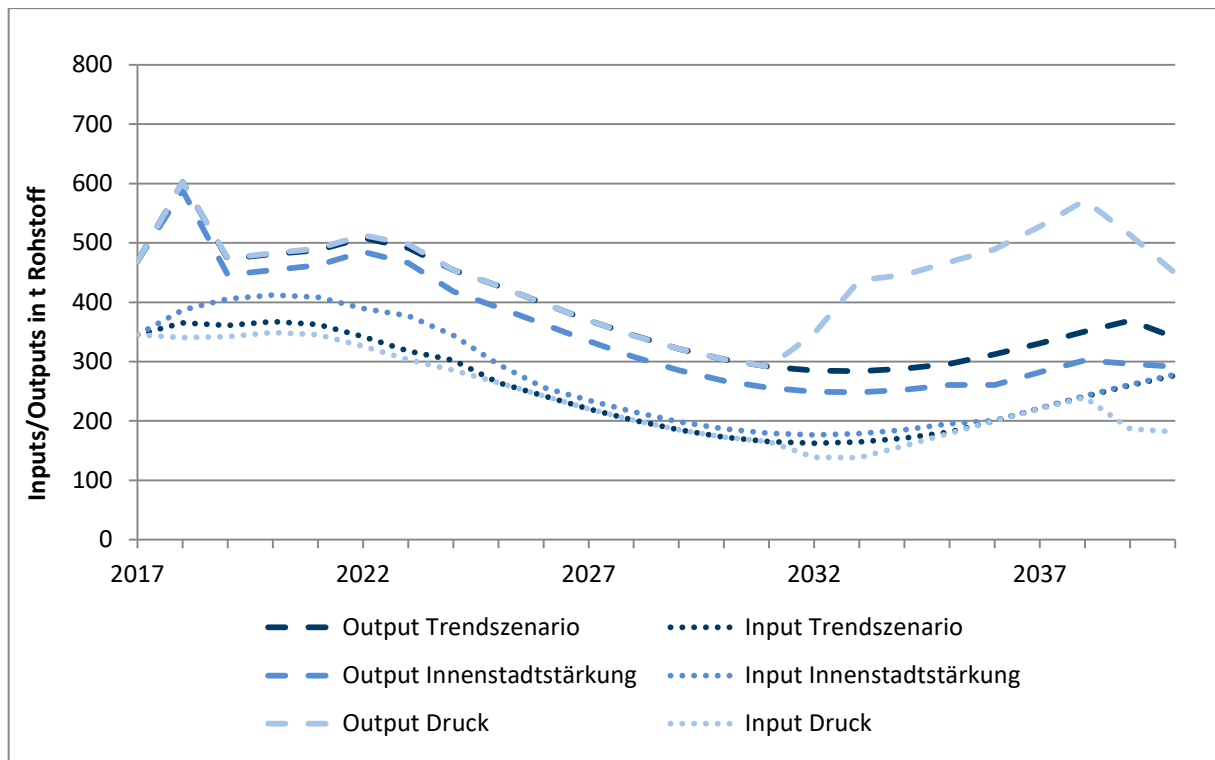


Abbildung 5-23: Stahlinputs und -outputs aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Warenhäuser.

In allen Szenarien sind die Stahloutputs höher als die -inputs. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass moderne Fahrtreppen über einen geringeren Gehalt verfügen als ältere Modelle, sodass durch Outputs der älteren und Input der neueren Fahrtreppen insgesamt Stahl aus dem Lager entfernt wird. Dies ist auch in Abbildung 5-24 dargestellt.

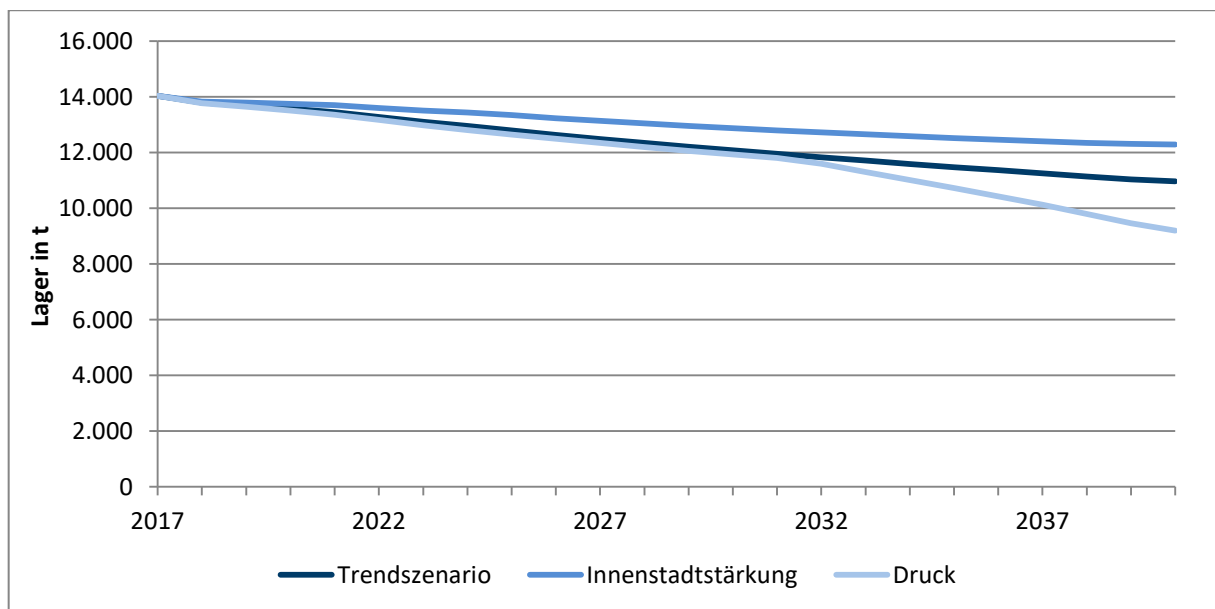


Abbildung 5-24: Entwicklung des Rohstofflagers Stahl aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Warenhäuser.

Für Aluminium verhält sich die Entwicklung wie in Abbildung 5-25 gezeigt. Auch in diesem Fall sind im Szenario *Druck* aufgrund des hohen Rückgangs der Verkaufsfläche der höchste Output und der niedrigste Input zu erkennen. Im Gegensatz zu Stahl sind jedoch die Aluminiuminputs zunächst deutlich höher als die -outputs. Dies ist ebenfalls durch den von der Altersklasse anhängigen Aluminiumgehalt begründet. Während alte Fahrtreppen wenig bis kein Aluminium beinhalten und somit durch ihren Output nur wenig Aluminiumoutput entsteht, erzeugt der Einbau modernerer

Fahrtreppen mit höheren Aluminiumgehalten für entsprechende Inputs. Im Laufe der Zeit müssen jedoch zunehmend Fahrtreppen jüngeren Alters und mit höherem Aluminiumgehalt repariert bzw. ausgetauscht werden, weshalb der Aluminiumoutput ansteigt.

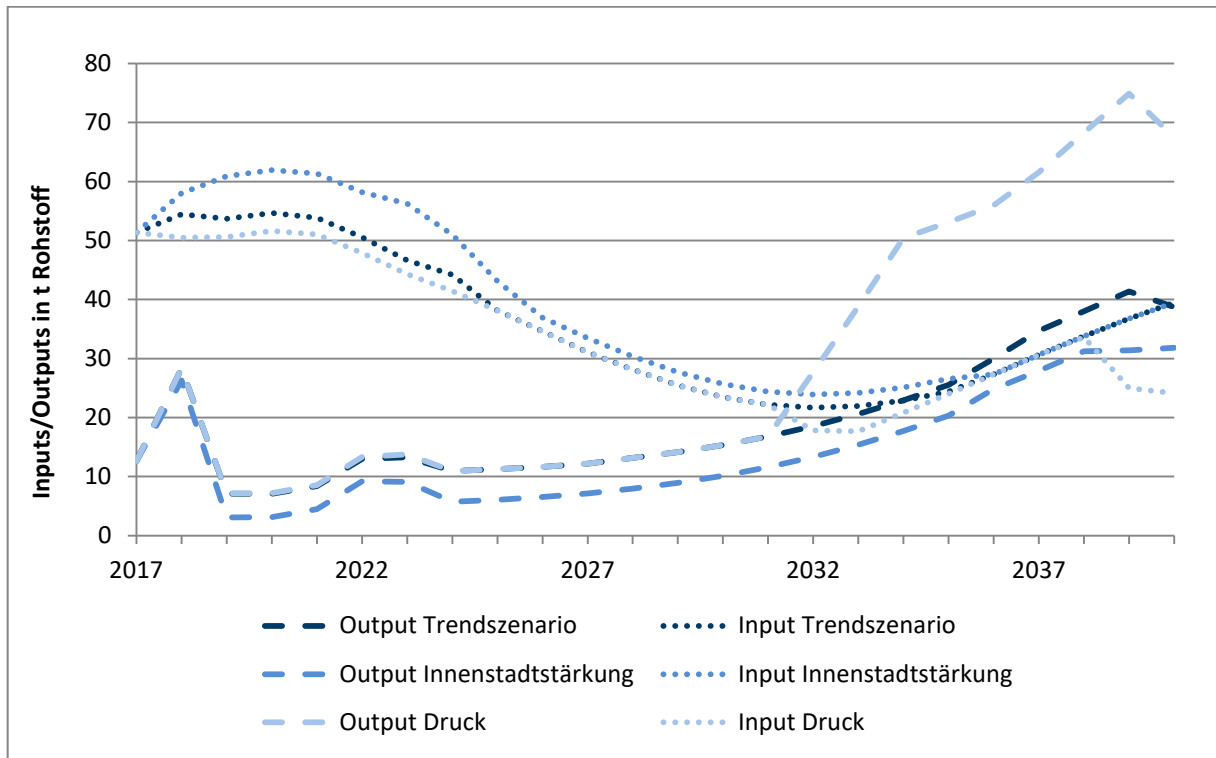


Abbildung 5-25: Aluminiuminputs und -outputs aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Warenhäuser.

Insgesamt ergibt sich damit das in Abbildung 5-26 dargestellte, annähernd in Sättigung gehende Aluminiumlager für das Trendszenario und das Szenario *Innenstadtstärkung* sowie ein zunächst leicht steigendes und aufgrund der hohen Verkaufsflächenoutputs ab etwa 2032 wieder sinkendes Lager für das Szenario *Druck*.

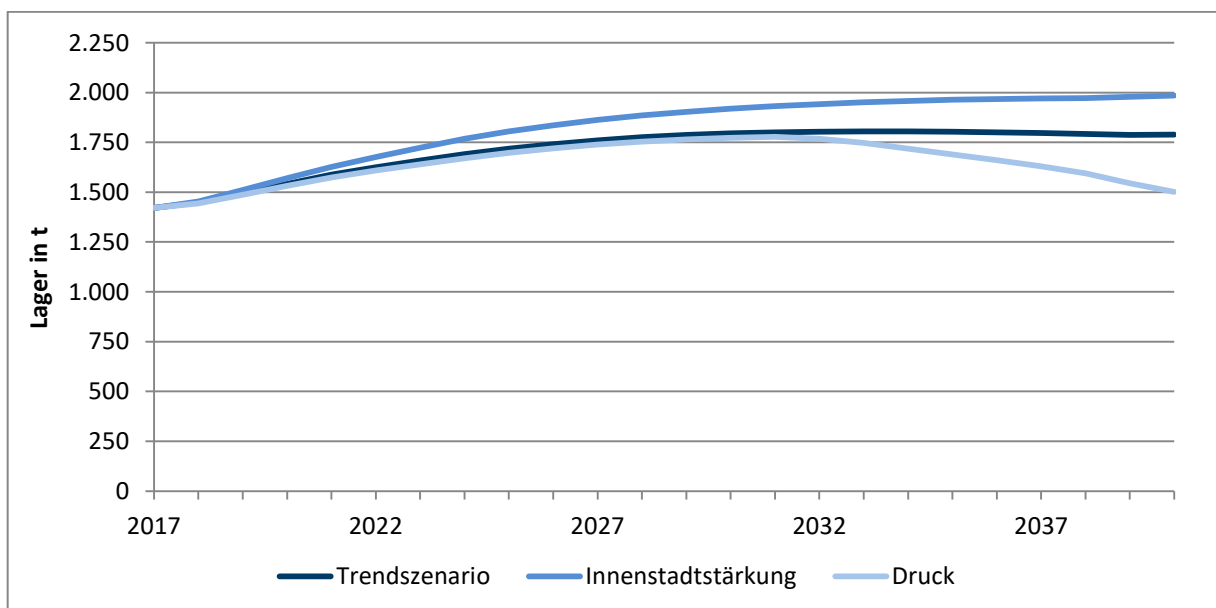


Abbildung 5-26: Entwicklung des Rohstofflagers Aluminium aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Warenhäuser.

Die Entwicklung der Inputs, Outputs und des Lagers von Kupfer verläuft aufgrund des gleichbleibenden Kupfergehalts analog zur entsprechenden Entwicklung der Gebäudetechnikebene. Sie ist in Abbildung 5-27 bzw. Abbildung 5-28 dargestellt.

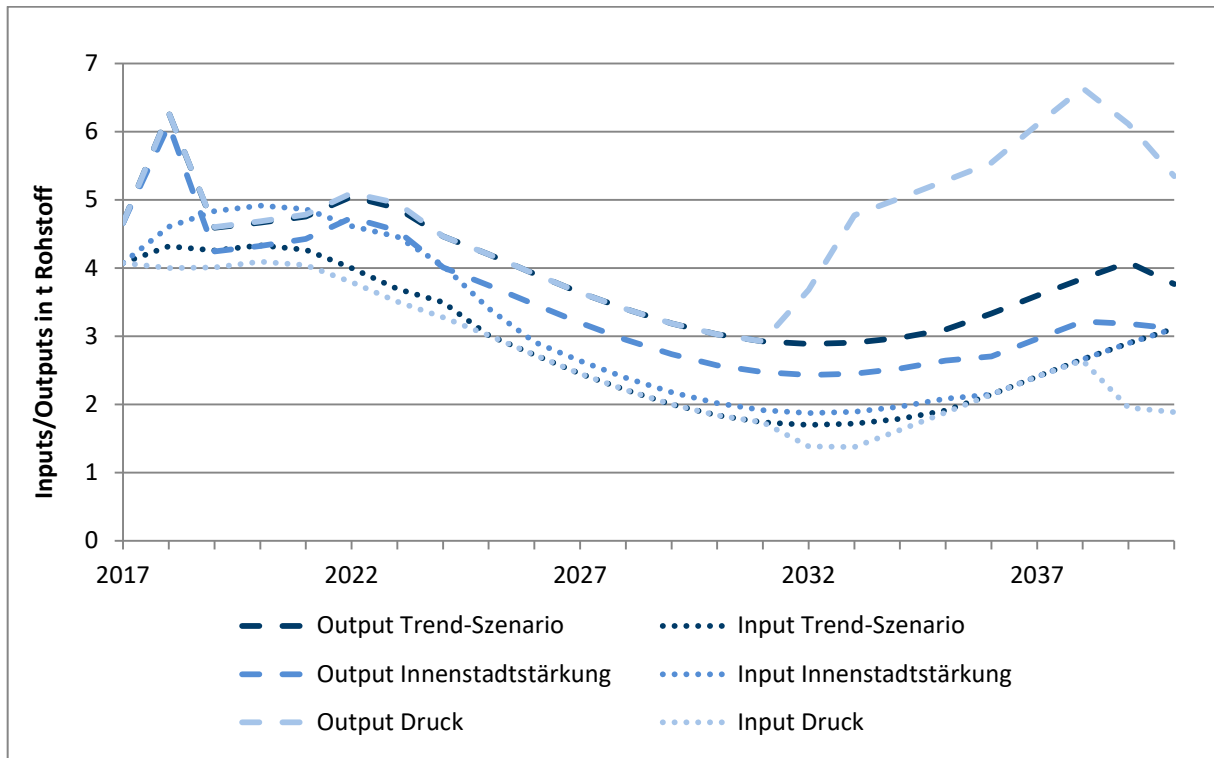


Abbildung 5-27: Kupferinputs und -outputs aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Warenhäuser.

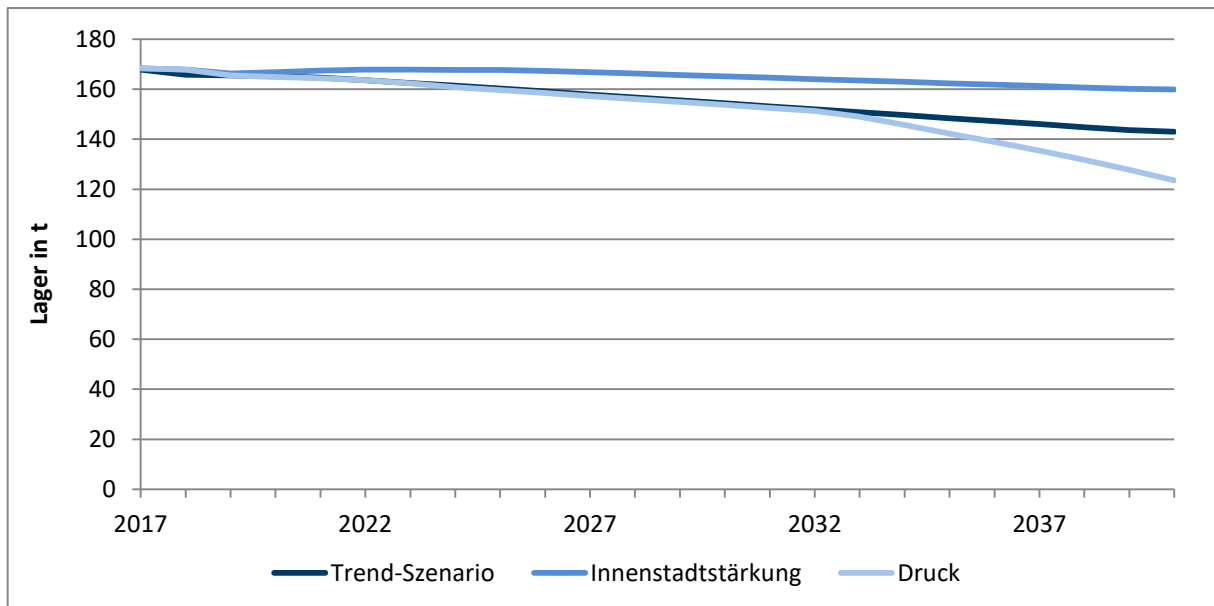


Abbildung 5-28: Entwicklung des Rohstofflagers Kupfer aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Warenhäuser.

5.3 Teilmodell Einkaufszentren

Für ein Einkaufszentrum existieren verschiedene Definitionen. Aus planungsrechtlicher Sicht handelt es sich dabei im Regelfall um „einen von vornherein einheitlich geplanten, finanzierten, gebauten und verwalteten Gebäudekomplex mit mehreren Einzelhandelsbetrieben verschiedener Art und Größe – zumeist verbunden mit verschiedenartigen Dienstleistungsbetrieben“ (BauNVO, vom 04.05.2017).

Auch eine Ansammlung mehrerer Betriebe ohne solche Planung kann im Rechtssinne ein Einkaufszentrum darstellen, wenn dafür „außer ihrer engen räumlichen Konzentration ein Mindestmaß an äußerlich in Erscheinung tretender gemeinsamer Organisation und Kooperation“ besteht (Bundesverwaltungsgericht 1990). Die Definition des EHI Retail Institute e.V. hingegen lautet: „Shopping-Center sind aufgrund zentraler Planung errichtete großflächige Versorgungseinrichtungen, die unter einheitlichem Management stehen und eine Mietfläche von mindestens 10.000 m² aufweisen.“ (EHI Retail Institute e.V. 2017b). Die darin verwendete Untergrenze der Mietfläche entspricht der der meisten internationalen Definitionen.

Bei Ansammlungen mehrerer Betriebe, die im Rechtssinne ein Einkaufszentrum darstellen, wird davon ausgegangen, dass diese im Regelfall ebenerdig sind, beispielsweise Fußgängerzonen. Es sind also bis auf innerhalb größerer Geschäfte keine Fahrtreppen bzw. Fahrsteige zu erwarten, weshalb diese Ansammlungen für die Inventarermittlung im Materialflussmodell nicht von Interesse sind. Ebenfalls ist davon auszugehen, dass Einkaufszentren mit eher geringer Mietfläche keine Fahrtreppen benötigen. Im Rahmen dieser Arbeit wird daher die Definition des EHI Retail Institute e.V. für Einkaufszentren verwendet, da sie die Bauform von Einkaufszentren beschreibt, in welcher Fahrtreppen erwartet werden.

Das erste Einkaufszentrum in Deutschland ist das 1964 eröffnete Main-Taunus-Zentrum. Der Gebäudetyp ist demnach eine relativ neue Erscheinung. Dennoch wird in der Fachliteratur bereits in verschiedene Generationen von Einkaufszentren unterschieden, welche sich durch unterschiedliche Standorte und Untertypen mit speziellen Bauformen, Ausstattungen und Geschäften auszeichnen.

Das (EHI Retail Institute e.V. 2009) unterscheidet sechs Generationen. Zwischen etwa 1964 und 1975 wurden in der ersten Generation hauptsächlich große Zentren außerhalb von Siedlungsgebieten, d.h. „auf der grünen Wiese“ erbaut. In der zweiten Generation zwischen etwa 1970 und 1980 verlagerte sich der Neubau von dann meist mehrgeschossigen Einkaufszentren überwiegend in die Städte. Zwischen etwa 1980 und 1990 wurden in der dritten Generation schließlich eher innerstädtische Passagen erbaut, welche im Regelfall ebenerdig sind und über Geschäfte mit nur einer Verkaufsebene verfügen. Ebenen oberhalb der Passagen wurden anderweitig genutzt, beispielsweise als Büroflächen. Zwischen 1985 und 1995 begann die erste große Welle der Revitalisierung bestehender Center, welche vom EHI Retail Institute e.V. als vierte Generation gezählt wird. Zwischen 1990 und 1997 wurden als fünfte Generation hauptsächlich Fachmarktzentren in den neuen Bundesländern erbaut, sowohl innerhalb als auch außerhalb von Städten. Die sechste Generation von 1998 bis zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Kategorisierung charakterisiert sich vor allem durch kleinere, mehrgeschossige, klassische Einkaufszentren in Innenstädten. Andere Kategorisierungen aus älteren Literaturquellen, die sich hauptsächlich auf (Junker und Kühn 1999) beziehen, gehen noch von vier Generationen aus. Die Revitalisierung wird dort nicht als separate Generation gezählt und die nach (EHI Retail Institute e.V. 2009) definierte sechste Generation bestand noch nicht.

Aufgrund der unterschiedlichen Bauformen und Standorte variieren sowohl der Gehalt an Fahrtreppen als auch die Szenarien für die Entwicklung des Gebäudebestands. Zur Verbesserung der Genauigkeit der Annahmen müssen daher Gebäudeuntertypen bzw. Standorte mit jeweils vergleichbaren Eigenschaften separat betrachtet werden.

Im Materialflussmodell berücksichtigt werden die Untertypen klassisches Einkaufszentrum, multifunktionales Einkaufszentrum sowie Hybrid-Center. Sie werden in Kapitel 5.3.1 näher erläutert. Nicht berücksichtigt werden Einkaufszentren in Bahnhöfen und Flughäfen, Fachmarktzentren sowie Factory-Outlet-Center.

In Bahnhöfe bzw. Flughäfen integrierte Zentren werden bereits in den Teilmodellen der Bahnstationen bzw. Flughäfen betrachtet. Bei Gebäudeaufnahmen von insgesamt fünf Fachmarktzentren konnten keine Fahrtreppen vorgefunden werden. Daraus wird geschlossen, dass Fahrtreppen in diesem Untertyp in der Regel unwahrscheinlich sind. In einigen der untersuchten Fachmarktzentren wurden

stattdessen sowohl zur Verbindung der Verkehrsebenen als auch innerhalb von Geschäften sogenannte Fahrsteige vorgefunden. Diese sind den Fahrtreppen ähnlich, verfügen jedoch über eine flache, in diesem Fall geneigte Oberfläche, um sie mit Einkaufswagen befahren zu können, wie in Abbildung 5-29 dargestellt. Sie sind in Fachmarktzentren zweckdienlicher als Fahrtreppen, da die Kunden in den dort vorhandenen Fachmärkten in der Regel schwere bzw. unhandliche Einkäufe von Lebensmitteln oder Garten- und Heimwerkerbedarf tätigen und diese so besser zu ihrem PKW befördern können. Fahrsteige werden jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet, da sie eine andere Gebäudetechnikart darstellen und ein separates dynamisches Materialflussmodell benötigen.



Abbildung 5-29: Mit Einkaufswagen befahrbare Fahrsteige als Alternative zu Fahrtreppen in einem Supermarkt eines Fachmarktzentrums.

Bei der Untersuchung der Bestandsdaten der Factory-Outlet-Center nach (EHI Retail Institute e.V. 2016b) und der Gebäudeaufnahme von drei dieser Zentren zeigte sich, dass sie im Regelfall ebenfalls keine Fahrtreppen besitzen. Sie sind meist in Form einer Fußgängerzone oder als „Einkaufsdorf“ aus mehreren kleinen Gebäuden mit ebenerdigen Verkaufsflächen angelegt. Von den derzeit insgesamt 20 bestehenden Factory-Outlet-Centern in Deutschland verfügen nur zwei über mehr als eine für Kunden zugängliche Ebene. Die Anzahl der Fahrtreppen ist daher im Verhältnis zur Gesamtmenge der Fahrtreppen in Deutschland und zum Aufwand der Teilmodellerstellung zu vernachlässigen.

Fahrtreppen treten in Einkaufszentren zur Verbindung mehrerer Ebenen der sogenannten Mall auf. Darunter wird die Verkehrs- bzw. Aufenthaltsfläche verstanden, über welche die Kunden die einzelnen Geschäfte erreichen. Größere Geschäfte verfügen teils selbst über Fahrtreppen, wenn sie sich über mehrere Ebenen des Einkaufszentrums erstrecken. Die Fahrtreppenzahl hängt daher von der für Kunden erreichbaren Fläche ab. Für diese existiert jedoch kein Datensatz. Verfügbar sind einerseits die Gesamtfläche eines Einkaufszentrums, welche jedoch möglicherweise auch sehr große Parkflächen beinhaltet, sowie die sogenannte Mietfläche. Die Mietfläche entspricht der Fläche, die an Einzelhändler vermietet wird, und beinhaltet die Verkaufsflächen innerhalb der Geschäfte sowie Nebenräume wie Lagerflächen oder Personalaufenthaltsbereiche. Die Mietfläche wird in der Regel mit dem Faktor 0,9 auf die Verkaufsfläche umgerechnet (Hessert und Jenne 2014). Somit kann von einem annähernd konstanten Verhältnis der beiden Flächen zueinander ausgegangen werden. Dies wird ebenfalls für das Verhältnis der Mietfläche zur Mall angenommen. Somit wird die Mietfläche in den nachfolgenden Betrachtungen als Bezugsgröße für die Fahrtreppen verwendet.

5.3.1 Gebäudebestand der Einkaufszentren

Für das Materialflussmodell wird der derzeitige Gebäudebestand als Startwert des Gebäudelagers im Basisjahr benötigt. Zudem ist für die Erstellung der späteren Szenarien Kenntnis über die bisherige Entwicklung der Einkaufszentren in Deutschland hilfreich.

In der folgenden Analyse des Gebäudebestands und seiner Entwicklung wird differenziert nach Untertypen sowie nach Standorten der Einkaufszentren, da beide Faktoren sich auf die Anzahl der vorhandenen Fahrtreppen pro Mietfläche auswirken.

Für die Ermittlung des Gebäudebestands wird ein Datensatz des EHI Retail Institute verwendet (EHI Retail Institute e.V. 2016b). Dieser wurde vom EHI mittels originären Vorort-Recherchen, Abfragen bei den Betreibern und relevanten Meldungen in Presse und Medien erhoben, wobei die Daten jedes Einkaufszentrums mindestens einmal jährlich auf Aktualität geprüft werden. Der Stand des Zugriffs auf die Daten ist der 31. Dezember 2016, womit das Jahr 2016 als Basisjahr für das Materialflussmodell verwendet wird.

5.3.1.1 Klassische und multifunktionale Einkaufszentren

Das klassische Einkaufszentrum entspricht dem „Urtyp“ des Einkaufszentrums und verfügt über eine breite Warenvielfalt vor allem im Bekleidungstextilbereich sowie über ein Gastronomie- und Freizeitangebot. Der Begriff der multifunktionalen Einkaufszentren wird im Bereich des Centermanagements vielfach verwendet, dennoch wurde bei der Literaturrecherche in Fachzeitschriften, in den Shopping-Center Reports des EHI sowie auf dessen Internetpräsenz keine genaue Definition für diesen Untertyp gefunden. Es liegt nahe, dass sie weitere Funktionen erfüllen als klassische Einkaufszentren. Bauliche Unterschiede zum klassischen Einkaufszentrum wurden bei der Gebäudeaufnahme von zehn verschiedenen multifunktionalen Einkaufszentren jedoch nicht offensichtlich. Sie entsprachen sowohl von ihrer Aufteilung her als auch hinsichtlich der vorhandenen Geschäfte den untersuchten klassischen Einkaufszentren. Eine eigenständige Differenzierung zwischen den untersuchten Zentren in „klassisch“ und „multifunktional“ wäre allein auf Grundlage des Kenntnisstandes aus den Gebäudeuntersuchungen nicht möglich.

Laut (EHI Retail Institute e.V. 2017a) entwickeln sich klassische Einkaufszentren zunehmend zu multifunktionalen Einkaufszentren weiter. Daher kann davon ausgegangen werden, dass zwischen diesen beiden Untertypen ein fließender Übergang sowie hohe bauliche Ähnlichkeit bestehen. Für die nachfolgenden Betrachtungen werden daher klassische und multifunktionale Einkaufszentren gemeinsam betrachtet. Sie machen mit 378 Zentren in Deutschland rund 80% der deutschen Einkaufszentren aus. Ihre Mietfläche beträgt insgesamt 9.720.560 m², was etwa 78% der Gesamtmietfläche aller Einkaufszentren entspricht.

In Abbildung 5-30 sind die klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren differenziert nach der Anzahl ihrer Ebenen und weiterhin nach ihrem Standort dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sie in der Regel über eine bis drei Verkaufsebenen verfügen und hauptsächlich in Innenstädten bzw. Stadtteilen aufzufinden sind.

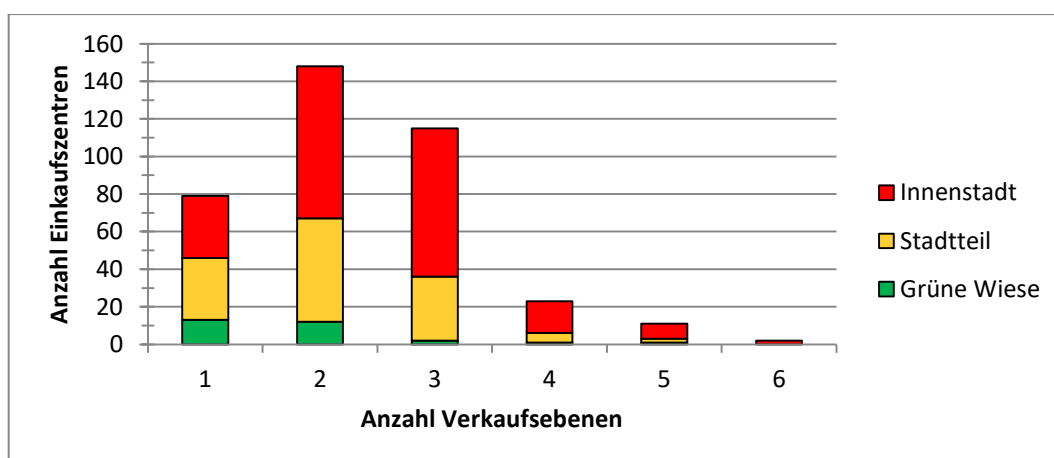


Abbildung 5-30: Anzahl klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren und ihrer Verkaufsebenen sowie Standorte. Daten aggregiert aus (EHI Retail Institute e.V. 2016b).

Abbildung 5-31 zeigt die Zubaujahre der Mietflächen der derzeit bestehenden klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren in Deutschland. Da bereits abgegangene Gebäude im Datensatz des EHI nicht erfasst werden, entspricht dies nicht vollständig der Bauhistorie. Gebäudeabgänge von Einkaufszentren treten jedoch verhältnismäßig selten auf (siehe Kapitel 5.3.3.2). Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Entwicklung der Bautätigkeit qualitativ hinreichend repräsentiert wird.

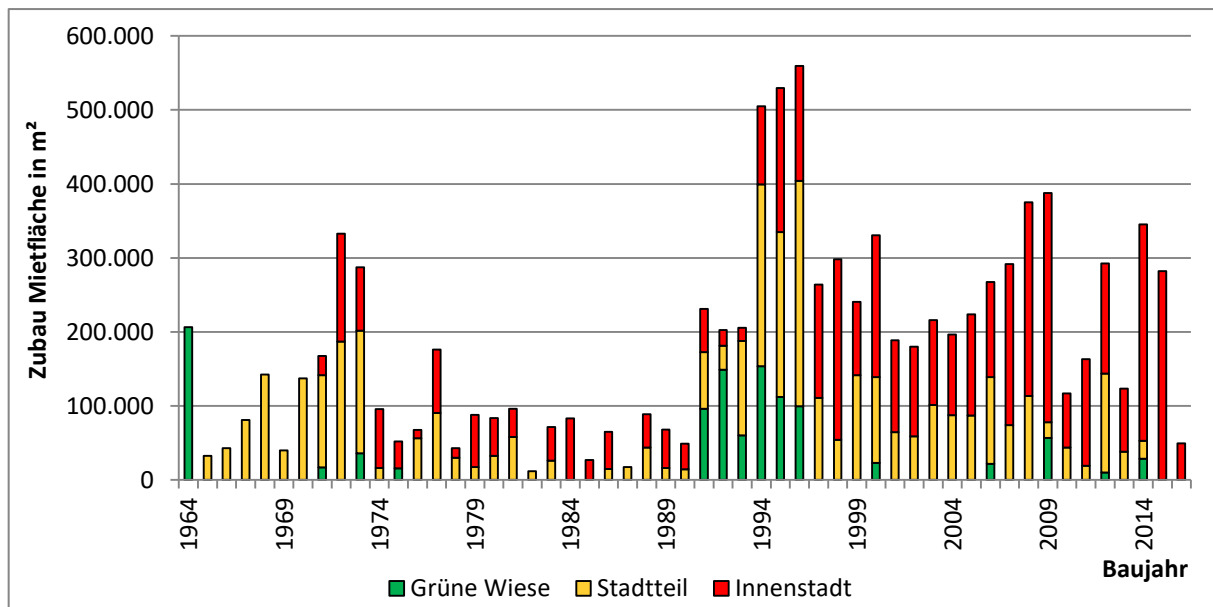


Abbildung 5-31: Mietflächenzubau derzeit in Nutzung befindlicher klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren. Daten aggregiert aus (EHI Retail Institute e.V. 2016b).

Es ist zu erkennen, dass der Untertyp des klassischen bzw. multifunktionalen Einkaufszentrums seit der Einführung der Einkaufszentren in Deutschland vertreten ist. Zu Beginn der 1970er Jahre geschieht ein Anstieg des Zubaus. Vermutlich wurde in diesem Zeitraum das Konzept „Einkaufszentrum“ als wirtschaftlich erkannt und verbreitete sich weiter. Nachdem danach fast zwei Dekaden lang ein Zubau von unter 100.000 m² pro Jahr zu verzeichnen ist, tritt ab den 1990er Jahren wiederum ein starker Anstieg auf. In der ersten Hälfte der 1990er Jahre ist dies begründet durch die hohe Bautätigkeit in den neuen Bundesländern direkt nach der Wiedervereinigung. Dort bestand seitens der Konsumenten eine hohe ungedeckte Nachfrage vor allem nach Non-Food Gütern, d.h. Waren außerhalb des Bereichs der Lebensmittel (Hessert und Jenne 2014). Zur Beschleunigung des „Aufbau Ost“ ließ das Planungsrecht bis Ende 1997 zudem zahlreiche Ausnahmen zu, von denen besonders größere Bauprojekte wie Einkaufszentren profitierten (Hessert und Jenne 2014). In diesem Zusammenhang entstanden auch vermehrt klassische Einkaufszentren auf der „Grünen Wiese“.¹⁵

Gegen Ende der 1990er Jahre verlagerten sich die Neubauten der klassischen und multifunktionellen Einkaufszentren wieder fast ausschließlich in die Städte. Dies ist die sechste Generation der Einkaufszentren nach (EHI Retail Institute e.V. 2009). Zudem dominieren ab diesem Zeitraum wiederum die alten Bundesländer als Standorte. Mögliche Gründe dafür sind, dass der Bedarf in den neuen Bundesländern durch den Bauboom schnell gedeckt wurde, oder auch dass der Bedarf bedingt durch den demografischen Wandel vieler ostdeutscher Regionen bereits zurückging.

¹⁵ Im genutzten Datensatz treten Einkaufszentren in den neuen Bundesländern erst ab 1991 auf, also nach der deutschen Wiedervereinigung. Es gab zwar bereits in der DDR einzelne Gebäudekomplexe, die als Einkaufszentrum bezeichnet werden konnten, diese verfügten jedoch über sehr geringe Verkaufsflächen. (Hessert und Jenne 2014) führen als Großflächen im Einzelhandel der DDR neben verschiedenen Typen größerer Einzelhandelsgeschäfte auch 232 „ländliche Einkaufszentren“ auf. Diese verfügten insgesamt lediglich über 63.071 m² Verkaufsfläche, d.h. durchschnittlich rund 270 m². Dies entspricht bei weitem nicht der Mindestmietfläche der in dieser Arbeit verwendeten Definition.

Ab ca. 2010 schwankt der jährliche Zubau stark, ist jedoch im Mittel deutlich höher als vor der Wiedervereinigung. Ein möglicher Grund dafür kann ein steigendes Konsumverhalten der Bevölkerung sein. Es zeichnet sich zudem ab, dass die Innenstädte gegenüber den Stadtteilen als Standort seit etwa 2000 zunehmend bedeutender werden.

Abbildung 5-32 zeigt die Entwicklung des Mietflächenbestands der derzeit in Nutzung befindlichen klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren Deutschlands. Wie bei der vorangegangenen Abbildung kann auch hier davon ausgegangen werden, dass dies qualitativ repräsentativ für die gesamte Bauentwicklung ist. Es zeigt sich ein stetiger Zuwachs an Mietfläche, welcher seit Beginn der 1990er Jahre deutlich stärker ansteigt als in den Dekaden zuvor.

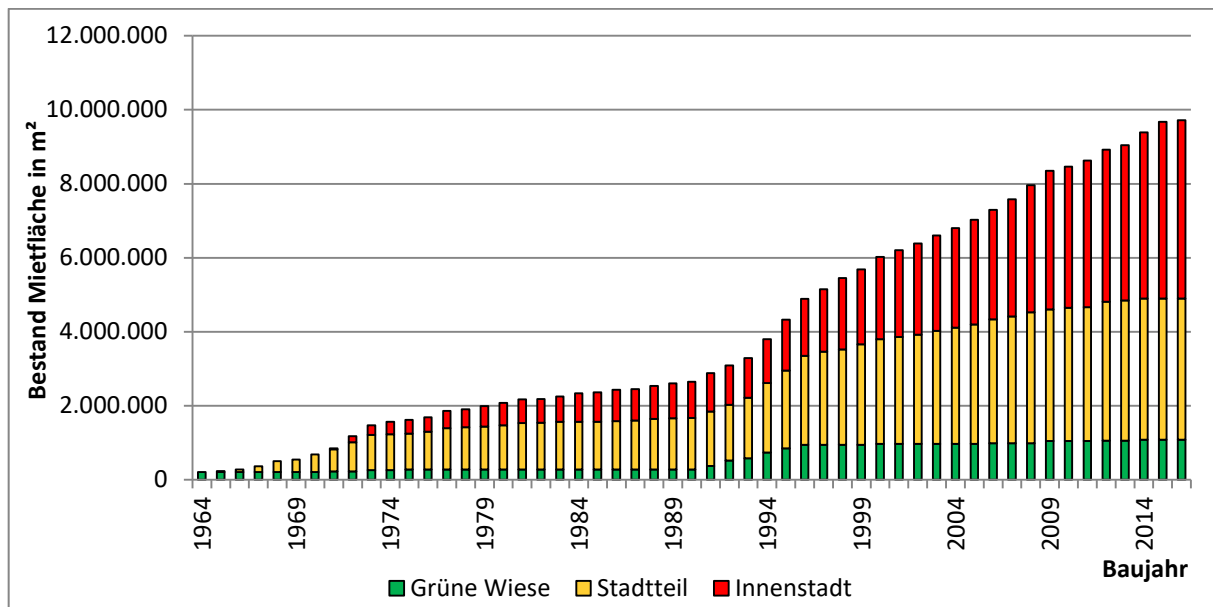


Abbildung 5-32: Mietflächenbestand derzeit in Nutzung befindlicher klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren. Daten aggregiert aus (EHI Retail Institute e.V. 2016b).

5.3.1.2 Hybrid-Center

Hybrid-Center stellen eine Mischung aus sogenannten Fachmarktzentren und klassischen Einkaufszentren dar. Fachmarktzentren dienen eher der Versorgung mit Gütern des alltäglichen Bedarfs anstelle der Freizeitgestaltung, daher sind sie meist funktionaler gestaltet als andere Untertypen von Einkaufszentren. Sie enthalten eher wenige, dafür großflächige Fachmärkte oder fachmarktähnliche Geschäfte. Typischerweise sind dies Supermärkte sowie Anbieter von Heimwerker- und Gartenbedarf. Diese können durch kleinflächige weitere Einzelhändler sowie Dienstleister ergänzt werden (EHI Retail Institute e.V. 2017b). Dieses Angebot wird bei Hybrid-Centern ergänzt durch den Erlebnischarakter des Einkaufens sowie typische Geschäfte aus klassischen Einkaufszentren, beispielsweise für Bekleidung (EHI Retail Institute e.V. 2017b).

Im Basisjahr befanden sich in Deutschland acht Hybrid-Center mit insgesamt 308.090 m² Mietfläche. Diese machen mit nur knapp 2% der Zentren bzw. der Mietfläche einen sehr geringen Anteil an den deutschen Einkaufszentren aus.

In Abbildung 5-33 sind die vorhandenen Hybrid-Center nach Anzahl der Verkaufsebenen und Standort aufgeschlüsselt. Die Mehrzahl besitzt eine oder zwei Verkaufsebenen. Sie sind an allen drei Standortoptionen zu finden, wobei die Lage in Stadtteilen am häufigsten auftritt. Aufgrund der bislang noch sehr geringen Anzahl an Hybrid-Centern muss zunächst davon ausgegangen werden, dass die Verteilung nicht repräsentativ sind.

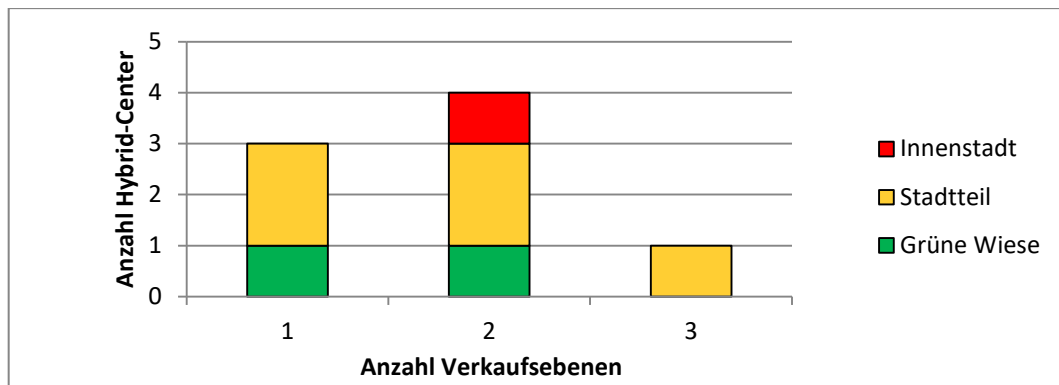


Abbildung 5-33: Anzahl der Hybrid-Center und ihrer Verkaufsebenen sowie Standorte in Deutschland. Daten aggregiert aus (EHI Retail Institute e.V. 2016b).

Im Hinblick auf die in Abbildung 5-34 dargestellten Baujahre der Hybrid-Center zeigt sich, dass sie eine relativ neue Erscheinung darstellen. Die frühesten Hybrid-Center wurden 1994 erbaut, wobei nicht klar ist, ob sie bereits damals als Hybrid-Center konzipiert wurden oder erst bei einer späteren Revitalisierung aus einem Fachmarktzentrum heraus entstanden.

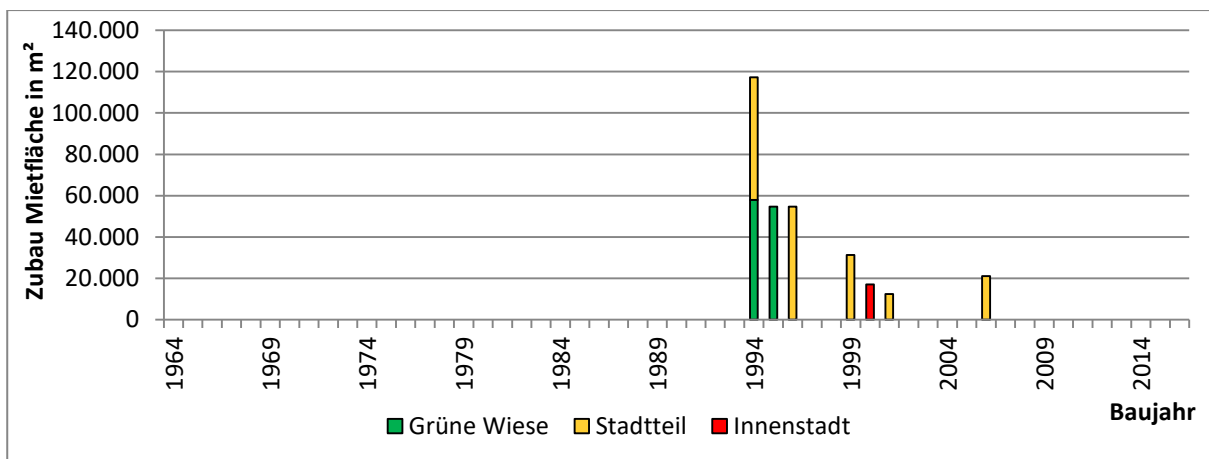


Abbildung 5-34: Zubau der Mietflächen der derzeit in Nutzung befindlichen Hybrid-Center in Deutschland pro Jahr. Daten aggregiert aus (EHI Retail Institute e.V. 2016b).

5.3.2 Rahmenbedingungen für die zukünftige Entwicklung der Einkaufszentren

Um Szenarien für die Treiber auf Gebäudeebene zu erstellen, müssen zunächst die generelle Situation der Einkaufszentren sowie aktuelle Herausforderungen an die Branche analysiert werden. Relevant sind dafür die Aspekte der Wirtschaftlichkeit bestehender Einkaufszentren, die Nachfrage nach Neubaumöglichkeiten und revitalisierungsbedürftigen Zentren seitens der Investoren sowie die politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen für Investitionen bzw. Bautätigkeit. Dazu werden statistische Daten sowie Einschätzungen von Experten aus dem Bereich der Handelsimmobilien herangezogen.

5.3.2.1 Wirtschaftlichkeit der bestehenden Einkaufszentren

Die Wirtschaftlichkeit eines Einkaufszentrums ist maßgeblich von dessen Umsatz abhängig. Dieser wiederum wird beeinflusst von verschiedenen Faktoren wie der Kaufkraft und Bevölkerungsdichte der Region, der generellen wirtschaftlichen Entwicklung in Deutschland und der Entwicklung des konkurrierenden Onlinehandels.

Betrachtet wird zunächst die Kaufkraft. Diese gibt an, wie viel Nettoeinkommen inklusive staatlicher Zahlungen der Bevölkerung zur Verfügung steht (GfK GeoMarketing GmbH 2016). Sie ist in Deutschland sehr ungleich verteilt. Die in Abbildung 5-35 dargestellte Prognose des Kaufkraftindex je Einwohner für das Jahr 2017 ermöglicht einen Vergleich der Kaufkraft unterschiedlicher Regionen.

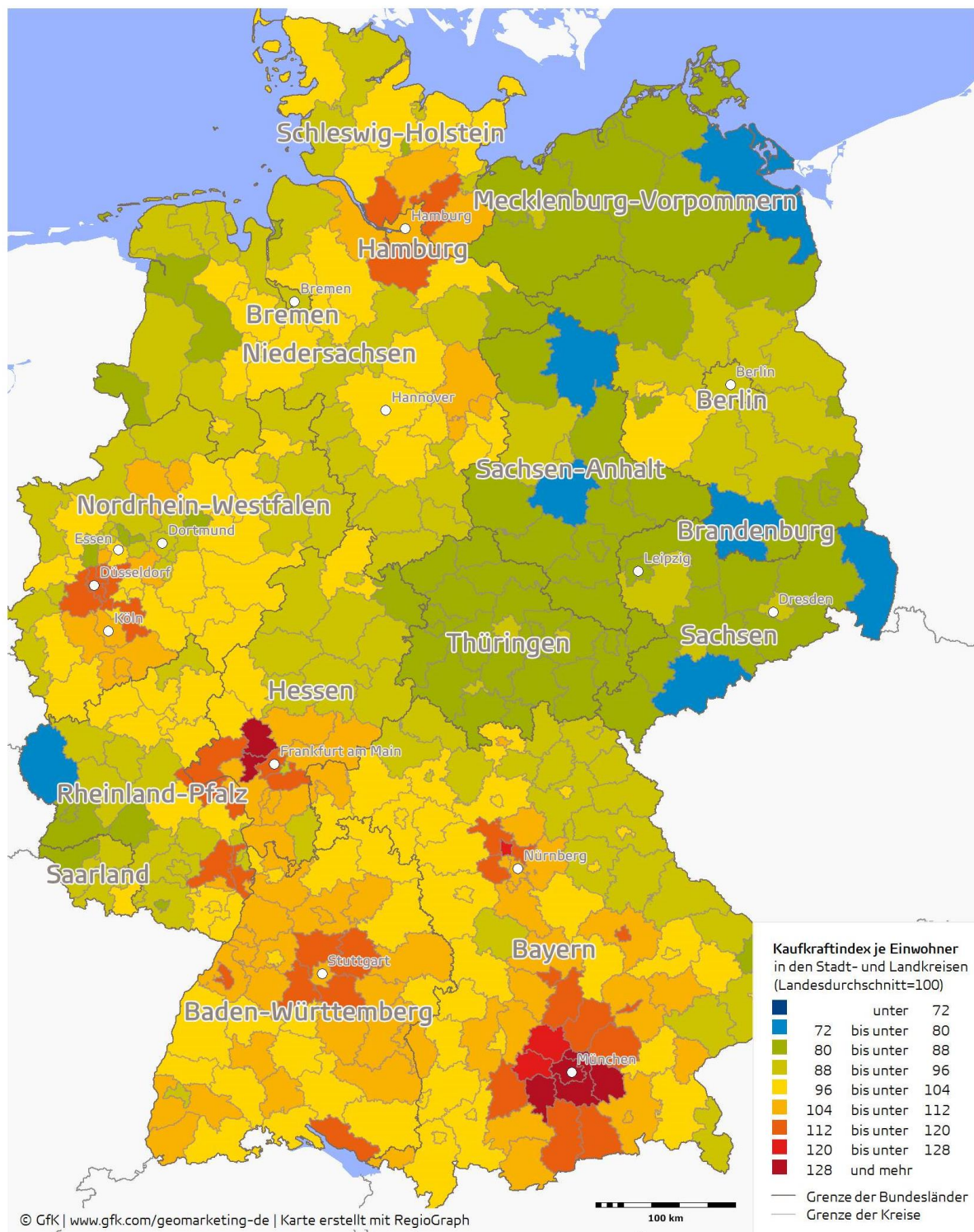


Abbildung 5-35: Prognose des Kaufkraftindexes für 2017, Abbildung aus: (GfK GeoMarketing GmbH 2016).

In den alten Bundesländern ist die Kaufkraft in der Regel in oder nahe stark verdichteten Landkreisen bzw. kreisfreien Städten am höchsten und in ländlicheren Regionen niedriger. In den neuen Bundesländern liegt die Kaufkraft pro Einwohner fast aller Landkreise und kreisfreien Städte deutlich unter dem gesamtdeutschen Durchschnitt. Dabei sind auch die Verdichtungsräume betroffen, da Städte der neuen Bundesländer einen überdurchschnittlichen Anteil armutsgefährdeter und von staatlicher Hilfe abhängiger Haushalte besitzen und somit ebenfalls nur über eine niedrige Kaufkraft je Einwohner verfügen (Hessert und Jenne 2014).

Insgesamt wurde in Deutschland von 2015 auf 2016 eine Kaufkraftsteigerung pro Kopf um 1,7% festgestellt (GfK GeoMarketing GmbH 2016). Die Bevölkerung wuchs in diesem Zeitraum zudem um 1,2%, sodass die gesamte Kaufkraft Deutschlands um 2,9% anstieg (GfK GeoMarketing GmbH 2016). Doch die Bevölkerungsentwicklung ist ebenfalls regional stark unterschiedlich. Derzeit wird ein Trend zur Urbanisierung festgestellt, durch den urbane Räume und Metropolen wachsen. (Müller 2017) geht davon aus, dass dadurch sogenannte A-Städte bis über 2060 hinaus einen Bevölkerungszuwachs verzeichnen werden, während B- und C-Städte bis 2040 mindestens ihre Bevölkerungszahl des Jahres 2014 halten können werden.¹⁶ Bei der separaten Betrachtung ostdeutscher Innenstädte hingegen stellen (Hessert und Jenne 2014) eine andere Lage fest. Die Bevölkerungsentwicklung ist dort hauptsächlich vom Zuzug bzw. Verbleib der Altersgruppe 18 bis 30-jähriger Personen abhängig. Da diese Altersgruppe insgesamt in Deutschland kleiner wird, ist dort mit einem Bevölkerungsrückgang zu rechnen. (Hessert und Jenne 2014).

Kombiniert man die Betrachtung der Bevölkerungsdichte und der Kaufkraft, so ergibt sich eine Kaufkraftdichte in € bezogen auf eine Fläche. Da Einkaufszentren sowohl von der Anzahl der möglichen Kunden in ihrem Einzugsbereich als auch von deren Kaufkraft abhängig sind, ist die Kaufkraftdichte ein sinnvoller Indikator für die Wirtschaftlichkeit eines Standortes. In Abbildung 5-36 ist die für 2017 prognostizierte Kaufkraftdichte Deutschlands dargestellt.

In den Großstädten sowohl der alten als auch der neuen Bundesländer liegen in der Regel hohe Kaufkraftdichten vor. In den Städten der neuen Bundesländer wird durch die noch hohe Bevölkerungsdichte trotz niedriger Kaufkraft je Einwohner ebenfalls eine hohe Kaufkraftdichte erreicht. Dies deutet zunächst auf eine derzeit wirtschaftlich rentable Lage für Einkaufszentren hin. Allerdings besteht in vielen Städten der neuen Bundesländer ein Überangebot an Einzelhandelsfläche pro Einwohner, was vor allem dem Bau von Einkaufszentren in den 1990er Jahren zugeschrieben wird (Hessert und Jenne 2014). Es liegt also an diesen Standorten eine Übersättigung vor, welche die Wirtschaftlichkeit des bestehenden Einzelhandels wiederum verringert.

Teilweise verfügen auch an Verdichtungsräume angrenzende Landkreise über höhere Kaufkraftdichten als benachbarte Landkreise, beispielsweise die Landkreise Oberhavel und Barnim im Norden von Berlin. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass diese häufig an der Grenze zum Verdichtungsraum noch eine hohe Bevölkerungsdichte besitzen. Die Bewohner dieses „Speckgürtels“ arbeiten in der Regel im Verdichtungsraum und verfügen über eine höhere Kaufkraft als Bewohner weiter entfernter Landkreise.

Vor allem im Norden der neuen Bundesländer liegt aufgrund der Kombination aus niedriger Kaufkraft und niedriger Bevölkerungsdichte eine sehr niedrige Kaufkraftdichte vor, ebenso in einigen sehr ländlich geprägten und daher dünn besiedelten Regionen der alten Bundesländer wie beispielsweise im Osten Bayerns oder im Westen Schleswig-Holsteins. Diese Standorte sind daher weniger bis nicht wirtschaftlich für Einkaufszentren.

Generell führt die Konkurrenz durch den Onlinehandel zu Frequenzverlusten und damit Umsatzeinbußen im stationären Einzelhandel. Hybrid-Center sind wie Fachmarktzentren weniger stark von der Konkurrenz durch den Onlinehandel bedroht, da dieser in den von ihnen hauptsächlich angebotenen Warengruppen Lebensmittel und Güter des täglichen Bedarfs wie Drogerieartikel noch keine hohen Marktanteile besitzt (siehe auch Anhang A1 für weitere Informationen zum Onlinehandel). Trotz Initiativen zur Ausweitung des Lebensmittelonlinehandels gehen die meisten Experten von einer nur zögerlichen Entwicklung aus (German Council Magazin 2016a; Müller 2016f).

¹⁶ Die Kategorisierung in A-, B- und C-Städte soll deren Größe symbolisieren. Für die Klassifizierung bestehen keine einheitlichen Kriterien. Als Konsens gilt, dass die Städte Berlin, Düsseldorf, Frankfurt am Main, Hamburg, München, Köln sowie Stuttgart als A-Städte eingestuft werden. Weiterhin gelten meist die Städte Bonn, Bremen, Dortmund, Dresden, Erfurt, Essen, Hannover, Leipzig, Nürnberg und Wiesbaden als B-Stadt, je nach Betrachtung werden diese jedoch teilweise auch als A-Stadt kategorisiert (TLG Immobilien und Wüest & Partner 2012).

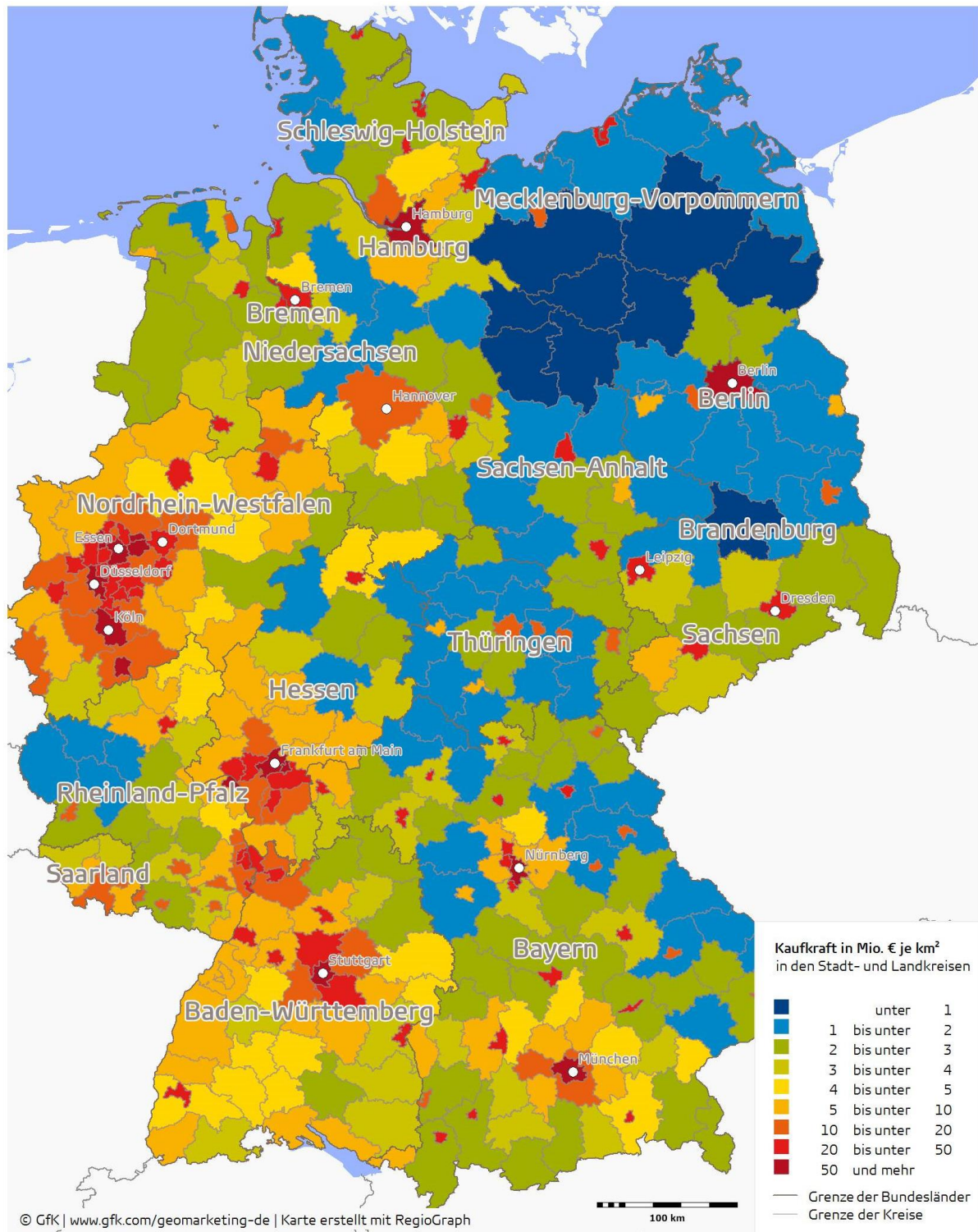


Abbildung 5-36: Prognose der Kaufkraftdichte für 2017, Abbildung aus: (GfK GeoMarketing GmbH 2016).

Als Strategie zur Stärkung des stationären Einzelhandels wird häufig empfohlen, verstärkt in die Erlebnisfunktion des Einkaufens für die Kunden zu investieren, um sich gegenüber dem eher auf die reine Beschaffung von Waren ausgelegten Onlinehandel abzugrenzen und hervorzuheben (GCSC und ZIA 2017; Müller 2016c). Die Erlebnisfunktion ist ein zentrales Ziel der Einkaufszentren, daher kann davon ausgegangen werden, dass sie gegenüber dem Onlinehandel eine deutlich stärkere Position einnehmen können als beispielsweise Warenhäuser. Diese Annahme wird bekräftigt durch den trotz des um 2000 aufkommenden Onlinehandels weiterhin wachsenden Marktanteil der Einkaufszentren. Er ist für die Jahre 1987 bis 2013 in Abbildung 5-37 dargestellt ist.

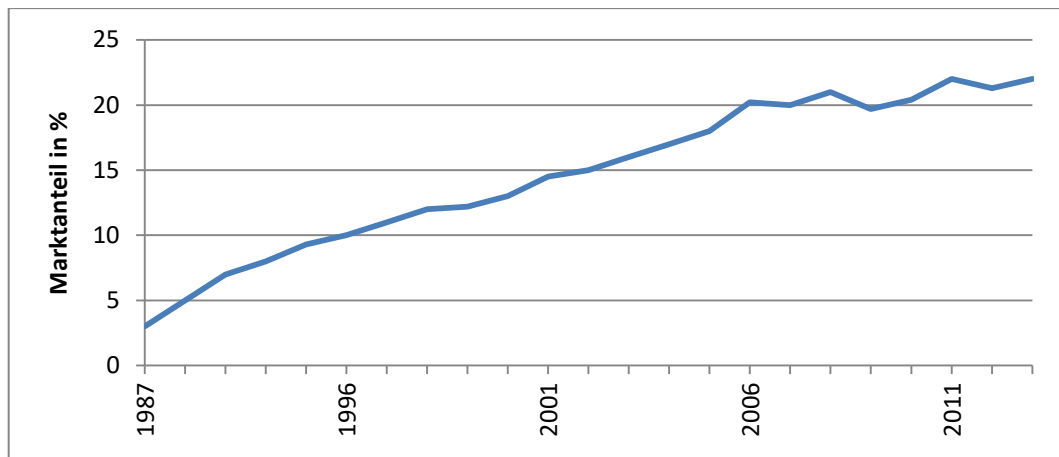


Abbildung 5-37: Entwicklung des Marktanteils von Einkaufszentren in den Jahren 1987 bis 2013.

Quelle: (EHI Retail Institute e.V. 2015).

5.3.2.2 Nachfrage der Investoren

Im Jahr 2016 waren Fachmarktzentren gemeinsam mit Fachmärkten zum dritten Jahr in Folge die Immobilien mit der größten Nachfrage seitens der Investoren. Ihnen folgen direkt die weiteren Untertypen von Einkaufszentren (Müller 2017). Vor allem die Hybrid-Center gelten als stabiles Investment, denn bei ihnen besteht große Flächennachfrage seitens der Mieter (Hager 2016). Zudem können Fachmarktzentren baurechtlich vergleichsweise unkompliziert zu Hybrid-Centern aufgewertet werden (Müller 2016e, 2016f; German Council Magazin 2016a).

Neubau und Revitalisierung von Einkaufszentren hängen jedoch nicht nur von deren Wirtschaftlichkeit ab, sondern auch von ihrer Attraktivität für Investoren im Vergleich mit anderen Anlageoptionen. Vor allem in den Jahren 2015 und 2016 stieg die Nachfrage bedingt durch niedrige Zinsen und fehlende geeignete Anlageoptionen stark an. Doch für die vielen interessierten Investoren stehen zu wenige geeignete Immobilien bzw. Standorte zur Verfügung (Müller 2016d; Hager 2016; EHI Retail Institute e.V. 2017b). In den A-Städten werden die Handelsimmobilien teils bereits als „überkauft“ eingeschätzt (Müller 2017; Pittroff 2017).¹⁷ Auch wird kritisiert, dass der Bauboom der Handelsimmobilien, darunter vor allem auch der Einkaufszentren, am konkreten Bedarf vorbei geht und der Bau von Verkaufsflächen zum Selbstzweck aufgrund des Investitionsdrucks wurde (Possinke 2017).

Die Spitzenrenditen sind jedoch für alle Untertypen der Einkaufszentren bereits seit ca. 2008 leicht sinkend (Hager 2016). Parallel zur starken Nachfrage wird außerdem in den sogenannten B-Lagen, d.h. außerhalb der Geschäftslagen mit der höchsten Besucherfrequenz, bereits eine erhöhte Leerstandsquote der Flächen in Einkaufszentren festgestellt (Pittroff 2017). Ebenfalls sind Flächennachfragen bei der Vermietung der Einkaufszentren tendenziell rückläufig. Vor allem größere Geschäfte und Anbieter von Bekleidungstextilien reduzieren ihre Flächen (Müller 2016a). Investitionen in Neustandorte sowie in Städten unter 20.000 Einwohnern waren im Jahr 2016 eher zurückhaltend (EHI Retail Institute e.V. 2017b).

5.3.2.3 Politische und rechtliche Rahmenbedingungen

Sowohl die Wirtschaftlichkeit der Einkaufszentren als auch Investitionen werden maßgeblich von politischen Faktoren und regulatorischen Vorgaben seitens der Politik beeinflusst. Der Rahmen reicht dabei von der kommunalen Ebene bis in die internationale Politik.

Die Kommunalpolitik setzt den gesetzlichen Rahmen für Planung und Genehmigungsprozesse bei Neu- und Umbau von Einkaufszentren. Durch Bebauungspläne können Kommunen die bauliche Nutzung

¹⁷ Dies bedeutet, dass nach einer starken Aufwärtsbewegung der Kaufaktivitäten in der nahen Zukunft ein deutlicher Rückgang der Käufe zu erwarten ist.

ihrer Bodenflächen festlegen (BGB, vom 03.11.2017). Dies entscheidet darüber, ob bzw. wo Neu- bzw. Umbau oder Erweiterung von Einkaufszentren zulässig ist. Die Bauleitplanung wird derzeit von vielen Experten als zu langwierig und abschreckend für Investoren kritisiert (German Council Magazin 2016c; Appelt und Huth 2016; Huth 2016; GCSC und ZIA 2017).

Weiterhin können seitens der Kommunen nach Baunutzungsverordnung (BauNVO) §1 Abs. 9 auch sogenannte Sortimentsbeschränkungen festgesetzt werden. Diese können beispielsweise für Einkaufszentren auf der „Grünen Wiese“ verschiedene Warengruppen verbieten, um den Einzelhandel in den Innenstädten zu unterstützen. Dies kann unter anderem dazu führen, dass ein Fachmarktzentrum nicht zu einem Hybrid-Center weiterentwickelt werden kann, da die zusätzlich erwünschten Warengruppen nicht angeboten werden dürfen. Experten kritisieren dies als Beschränkung des stationären Handels, die die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber dem Onlinehandel stark herabsetzt (German Council Magazin 2016c; GCSC und ZIA 2017).

Weitere regulatorische Vorgaben mit Einfluss auf Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des stationären Handels sind unter anderem die Festlegung der Ladenöffnungszeiten auf Landesebene sowie die innenstädtische Parkraumbewirtschaftung auf kommunaler Ebene (Huth 2016; Müller 2016c; German Council Magazin 2016c). Kritisiert wird seitens der Experten, dass geschlossene Geschäfte am Sonntag sowie schlechte Erreichbarkeit der Innenstädte mit dem Pkw die Kundschaft vermehrt den konkurrierenden Onlinehandel nutzen lässt.

Auch internationale politische Faktoren beeinflussen Investitionen in Einkaufszentren. Im Jahr 2016 stammten 44% der Investitionen aus dem Ausland, 2015 waren es 57% (EHI Retail Institute e.V. 2017b). Ereignisse wie der Austritt Großbritanniens aus der Europäischen Union und die US-amerikanische Präsidentschaftswahl erzeugen Unsicherheit bei interessierten Investoren, sowohl was die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung im eigenen Land angeht als auch bezüglich Investitionen im Ausland. Daher können solche Ereignisse zunächst zu einem zurückhaltenden Investitionsverhalten führen (Müller 2016b, 2016h). Als langfristig kritisch werden sie jedoch nicht eingeschätzt (Müller 2016h; German Council Magazin 2017a). Im Materialflussmodell ist es zudem nicht möglich, diese sich im Regelfall kurzfristig ankündigenden politischen Veränderungen in Szenarien abzubilden, welche Zeiträume von über 20 Jahren abbilden sollen.

Das Ausland kann auch zur Konkurrenz für Investitionen werden. In den vergangenen Jahren waren beispielsweise polnische Einkaufszentren als Anlage stark nachgefragt. Die Renditen sind höher als in Westeuropa; auch das prozentuale Wachstum des BIP ist stabil und beispielsweise im Jahr 2015 deutlich höher als in Deutschland (Appelt und Huth 2016). Doch auch im Ausland beeinflusst die Wirtschaftspolitik die Attraktivität der Einkaufszentren als Investitionsanlage. Im September 2016 trat beispielsweise in Polen ein Gesetz für die Umsatzsteuer im Einzelhandel in Kraft (KPMG International 2016). Dadurch sinken die Gewinne in der Handelsbranche, was wiederum die Attraktivität des Standortes Polen für internationale Einzelhandelskonzerne verringert (Appelt und Huth 2016). Derartig plötzliche Ereignisse können ebenfalls im Materialflussmodell nicht berücksichtigt werden, die Konkurrenzsituation durch den wirtschaftlichen Aufschwung in vielen osteuropäischen Ländern hingegen schon.

5.3.3 Treiber auf der Gebäudeebene

Aus den vorangehend erläuterten Rahmenbedingungen für die zukünftige Entwicklung der Einkaufszentren in Deutschland werden nachfolgend für die In- und Outputs auf Gebäudeebene jeweils drei verschiedene Szenarien abgeleitet:

- **Szenario *Sättigung*:** Im Szenario *Sättigung* wird angenommen, dass die Konsumentennachfrage nach klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren in Deutschland gesättigt wird. Vor dem Hintergrund attraktiverer Investitionsoptionen im osteuropäischen Ausland werden weniger Neueröffnungen getätigt, die vorhandenen Einkaufszentren sind jedoch größtenteils mindestens mittelfristig wirtschaftlich.

- **Szenario *Innenstadtstärkung*:** Dieses Szenario geht davon aus, dass derzeitige planungspolitische Bestrebungen zur Stärkung der Innenstädte erfolgreich sind, vor allem auch in den neuen Bundesländern. Infolgedessen sinkt die Abwanderung aus den vom demografischen Wandel bedrohten Städten und sie werden als Einkaufs- und Ausflugsziel attraktiver für die umliegenden Regionen. Damit wird auch die Lage der dort positionierten Einkaufszentren im Vergleich zu denen auf der „Grünen Wiese“ verbessert. Infolgedessen werden diese interessanter für die Investoren.
- **Szenario *Überversorgung*:** In diesem Szenario wird angenommen, dass die hohe Bautätigkeit in der Handelsimmobilienbranche aufgrund des großen Investitionsdrucks dazu führt, dass eine Überversorgung an Einkaufszentren entsteht, welche die Nachfrage seitens der Konsumenten übersteigt. Daraufhin sinkt zunächst die Wirtschaftlichkeit der Einkaufszentren und infolgedessen ihre Attraktivität für die Investoren.

Ein Trendszenario wurde für dieses Teilmodell bewusst nicht erstellt. Vor dem Hintergrund der bereits hohen Anzahl an Einkaufszentren und der überkauften Immobilien erscheint eine Weiterführung der bisherigen Entwicklung als äußerst unwahrscheinlich, zumal das osteuropäische Ausland um Investitionen konkurriert. Es wird angenommen, dass lediglich durch Stärkung der derzeit noch eher unattraktiven Standorte mittelfristig weitere Investitionen in nennenswerter Größe zu erwarten sind. Dies wird im Szenario *Innenstadtstärkung* berücksichtigt, was somit das Best-Case-Szenario darstellt. Das Szenario *Überversorgung* stellt das Worst-Case-Szenario dar, während das Szenario *Sättigung* eine Entwicklung zwischen beiden Fällen annimmt.

Alle festgelegten, in das Materialflussmodell einzugebenden Variablenwerte der Gebäudeebene dieses Teilmodells werden abschließend in Tabelle 5-16 und Tabelle 5-17 ab Seite 99 zusammengefasst. Eine Erläuterung zu Zukunftsperspektiven des Onlinehandels zum besseren Verständnis der Annahmen in den Szenarien ist in Anhang A1 gegeben.

5.3.3.1 Gebäudeinputs durch Neubau und Umnutzungen

Die Daten des (EHI Retail Institute e.V. 2016b) zeigen, dass im Jahr 2016 drei neue Einkaufszentren eröffnet wurden. Für 2017 wurde bislang nur die Eröffnung eines Zentrums angekündigt (Reddeker 2017).¹⁸ Im Vergleich zu den Neueröffnungen der vergangenen Dekaden ist dies außerordentlich wenig (Kapitel 5.3.1). Dies scheint jedoch nur eine zeitweise Verringerung zu sein. Obwohl seitens der Experten kritisiert wird, dass der Neubau unter anderem aufgrund der langwierigen Planungsprozesse erschwert wird, sind für Eröffnungen zwischen 2018 und 2021 bereits weitere 27 klassische oder multifunktionale Einkaufszentren in Planung oder im Bau (EHI Retail Institute e.V. 2016b, 2017b; Müller 2016d; GCSC und ZIA 2017). Alle diese Zentren werden in Großstädten angesiedelt. Bei allen bis auf eines, welches in Brandenburg an der Grenze zu Berlin geplant ist, liegen die Standorte in den alten Bundesländern.

Zudem wird für den Untertyp der Factory-Outlet-Center derzeit dringend nach neuen Standorten gesucht, inzwischen ebenfalls in Innenstädten (Müller 2016a, 2016d). In diesem Fall ist zu vermuten, dass sie dort aufgrund der eingeschränkten Flächenverfügbarkeit zukünftig auch mehrstöckig, d.h. mit Fahrtreppen geplant werden und daher auch im Materialflussmodell berücksichtigt werden sollten. Da bislang keine derartigen Factory-Outlet-Center bestehen, wird vereinfachend davon ausgegangen, dass diese hinsichtlich ihres Fahrtreppengehaltes mit klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren vergleichbar sind.

Für die mittelfristige Entwicklung gehen mehrere Experten davon aus, dass es keinen nennenswerten Flächenzuwachs geben wird (Müller 2016b, 2016d; Müller 2017). Andere hingegen vermuten, dass zukünftig vor allem gemischte Nutzungskonzepte, darunter auch die sogenannte Quartiersentwicklung den Trend in der Gestaltung von Einkaufszentren darstellen werden, um gegenüber dem Onlinehandel

¹⁸ Stand: Juli 2017

wettbewerbsfähig zu bleiben (German Council Magazin 2016a). Die Quartiersentwicklung konnte in den vergangenen Jahren bereits an zahlreichen Beispielen beobachtet werden (Huth und Müller 2016). Sie integriert mehrere Funktionen wie Einkaufen, Wohnen, Arbeiten, Freizeit oder Gastgewerbe sowie ein attraktives Erscheinungsbild in einen funktionalen Komplex aus Gebäuden und ggf. Freiflächen. Das Quartier verfügt über eine eher aufgelockerte Struktur. Die Einzelhandelsgeschäfte sind meist im Erdgeschoss sowie in der ersten Ebene angeordnet, während die darüber liegenden Ebenen für Wohn- und Büroflächen oder Hotelgewerbe genutzt werden. Beispiele für bereits im Bau befindliche oder abgeschlossene Projekte sind das Milaneo in Stuttgart und das Schultheiss-Quartier in Berlin (E. Breuninger GmbH & Co 2017; HGHI Schultheiss Quartier GmbH & Co. KG 2017; German Council Magazin 2016b). Diese werden in der Statistik des (EHI Retail Institute e.V. 2016b) derzeit als multifunktionale Einkaufszentren aufgeführt. Da sie jedoch eine andere bauliche Anordnung und deutlich mehr kombinierte Funktionen besitzen als andere Einkaufszentren dieses Untertyps ist es denkbar, dass zukünftig ein weiterer Untertyp eingeführt wird. Sollte sich der Trend entsprechend der Expertenaussagen fortführen, so kann das Quartier bzw. das gemischte Nutzungskonzept als nächste Generation der Einkaufszentren angesehen werden. Im Hinblick auf das Materialflussmodell würde dies bedeuten, dass weniger Fahrtreppen verbaut werden, da in der Regel nur eine oder zwei Ebenen des Komplexes als Verkaufsebene dienen.

Ein Teil des Gebäudeinputs entsteht komplett oder teilweise durch Umnutzung bestehender Immobilien. Nach Einschätzung der Experten werden zukünftig viele Fachmarktzentren im Rahmen einer Revitalisierung zu Hybrid-Centern weiterentwickelt (Hager 2016). Basierend auf der Analyse der Fahrtreppenzahl von jeweils vier Fachmarktzentren und vier Hybrid-Centern wird angenommen, dass dabei erstmalig Fahrtreppen zugebaut werden. Weiterhin werden auch Immobilien gänzlich anderen Typs zu Einkaufszentren umgenutzt. Ein Beispiel ist das Schultheiss Quartier, für welches eine ehemalige Brauerei umgebaut wird (HGHI Schultheiss Quartier GmbH & Co. KG 2017). Dazu ist in den meisten Fällen ein tief greifender Umbau der Struktur des Gebäudes notwendig, wobei in der Regel Fahrtreppen erstmalig eingebaut bzw. bestehende durch modernere Modelle ausgetauscht werden (Kapitel 5.2.3.2). Da in den verwendeten Daten nicht nach Neubau und Umnutzung differenziert wird und in beiden Fällen vom kompletten Austausch bestehender Fahrtreppen ausgegangen wird, werden beide Treiber im Materialflussmodell gemeinsam betrachtet.

Im Rahmen von Revitalisierungsmaßnahmen werden Einkaufszentren teilweise abgebrochen und neu errichtet. Dieser Neubau wird im Materialflussmodell ebenfalls dem Treiber *Neubau* zugeordnet, da im zugrunde liegenden Datensatz beim vergangenen Neubau nicht nach Revitalisierungsmaßnahme bzw. Neustandort differenziert wurde. Die Ermittlung von Szenarien zu diesem Anteil des Neubaus baut auf Analysen der Schließung und des Abbruchs von Einkaufszentren auf. Die Herleitung der Annahmen wird daher in Kapitel 5.3.3.2 näher erläutert.

Szenario Sättigung: In diesem Szenario wird angenommen, dass die Menge der in Deutschland vorhandenen klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren in eine Sättigung geht, da zum einen die Konsumentennachfrage durch die vorhandenen Einkaufszentren bereits gedeckt wird und zum anderen Investoren stattdessen attraktivere Anlageobjekte im osteuropäischen Ausland favorisieren.

Es wird daher eine Sättigungsgrenze für die Mietfläche der klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren in Deutschland berechnet. Grundlage dazu ist die nachfolgende Formel (10) für beschränktes Wachstum.

$$B'(t) = k \cdot (S - B(t)) \quad (10)$$

mit	
$B(t)$	Bestand zum Zeitpunkt t
$B'(t)$	Wachstumsrate zwischen Zeitpunkt t und $t+1$
k	Wachstumskonstante
S	Sättigungsgrenze

Formel (10) kann nicht direkt nach der Sättigungsgrenze S aufgelöst werden, da die Wachstumskonstante k nicht bekannt ist. Stattdessen werden die Formeln (11) und (12) für zwei aufeinanderfolgende Wachstumsraten $B'(t_1)$ bzw. $B'(t_2)$ aufgestellt. Als Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 zur Berechnung der Wachstumsraten $B'(t_1)$ und $B'(t_2)$ nach Formel (13) werden die Jahre 2010, 2015 sowie 2020 verwendet. Für 2020 wird dabei angenommen, dass die derzeit bis zu diesem Jahr geplanten neuen Einkaufszentren entsprechend fertiggestellt werden. Dies trifft in der Realität vermutlich nicht exakt zu, da Bauabläufe oftmals länger dauern als abgeschätzt. Für die Ermittlung einer Sättigungsgrenze der Mietfläche ist die Annahme dennoch zielführend, da eine Verschiebung dieses anteilmäßig geringen Betrages um ein oder zwei Jahre im Materialflussmodell keinen relevanten Unterschied macht. In Formel (14) wird Letztere nach k aufgelöst. In Formel (15) wird das k in Formel (11) eingesetzt. Diese Gleichung kann nach S aufgelöst werden, es ergibt sich Formel (16).

$$B'(2010) = k \cdot (S - B(2010)) = B(2015) - B(2010) \quad (11)$$

$$B'(2015) = k \cdot (S - B(2015)) = B(2020) - B(2015) \quad (12)$$

$$B'(t_1) = B(t_2) - B(t_1) \quad (13)$$

$$k = \frac{B'(2015)}{S - B(2015)} \quad (14)$$

$$B'(2010) = \frac{B'(2015)}{S - B(2015)} \cdot (S - B(2010)) \quad (15)$$

$$S = \frac{B'(2010) \cdot B(2015) - B'(2015) \cdot B(2010)}{B'(2010) - B'(2015)} \quad (16)$$

Es ergibt sich eine Sättigungsgrenze von gerundet 10.830.000 m² Mietfläche. Es wird weiterhin angenommen, dass sie im Jahr 2025 erreicht wird und für Neubau durchgehend der Standort Innenstadt gewählt wird. Dies bedeutet einen Zubau von rund 122.000 m² pro Jahr von 2022 bis 2025, was im Rahmen des Zubaus der vorhergehenden Jahre liegt. Abbildung 5-38 stellt die Sättigungsgrenze im Anschluss an die bisherige Mietflächenentwicklung und die bis 2021 geplanten Neubauten dar.

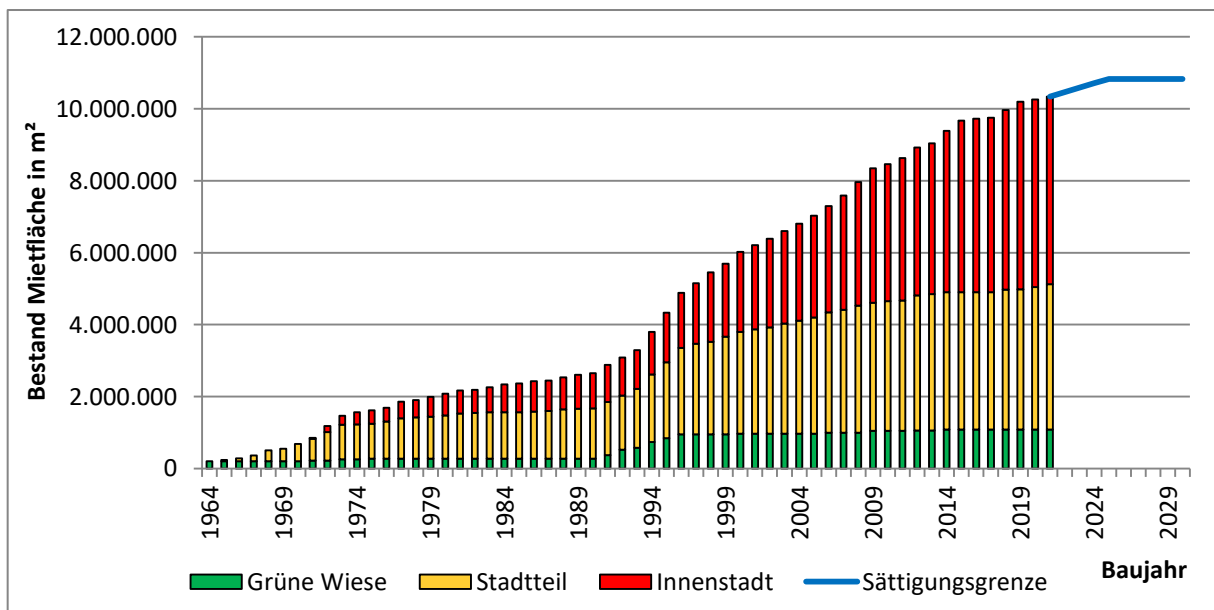


Abbildung 5-38: Angenommener Zubau der Mietfläche klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren in Deutschland. Daten weitergeführt aus Abbildung 5-31.

Es wird davon ausgegangen, dass weiterhin Abbrüche und Neubauten im Rahmen von Revitalisierungsmaßnahmen stattfinden (Kapitel 5.3.3.3). Angenommen wird, dass jährlich im Mittel gerundet 19.275 m² der Mietfläche der klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren in Innenstädten nach dem Abbruch eines alten Einkaufszentrums neu errichtet werden. Dies entspricht dem jährlichen Durchschnitt der zwischen 2013 und 2016 für Revitalisierungen geschlossenen Mietflächen. Es wird davon ausgegangen, dass im Mittel keine Veränderungen der Mietflächengröße vorgenommen werden.

Aufgrund der Konkurrenz durch das osteuropäische Ausland wird davon ausgegangen, dass kein wesentliches Interesse der Investoren für die Aufwertung von Fachmarktzentren zu Hybrid-Centern besteht. Es wird jedoch angenommen, dass in den kommenden Jahren für Factory-Outlet-Center Standorte in Innenstadtlage erschlossen werden. Im Zeitraum von 2001 bis 2016 wurden jährlich im Mittel 12.400 m² Mietfläche für Factory-Outlet-Center an den Standorten „Grüne Wiese“, Stadtteil und Innenstadt eröffnet (EHI Retail Institute e.V. 2016b). In Ermangelung konkreter Prognosen seitens der Immobilienexperten wird angenommen, dass sich diese Entwicklung mittelfristig fortsetzt, wobei ab 2020 etwa 50%, d.h. 6.200 m² der Mietflächen in Innenstädten eröffnet werden, die vermutlich mehrstöckig sind und daher Fahrtreppen enthalten. Ab 2025 erschöpft sich das Potenzial der anderen Standortoptionen und der Anteil in Innenstädten steigt auf etwa 75% bzw. 9.300 m².

Szenario *Innenstadtstärkung*: Dieses Szenario geht von einer Stärkung der Innenstädte vor allem in den neuen Bundesländern aus. Damit wird die wirtschaftliche Lage der dort befindlichen Einkaufszentren verbessert. Jedoch besteht zurzeit ein Überangebot an Einkaufsmöglichkeiten in den Innenstädten (siehe Kapitel 5.3.2.1). Es wird daher angenommen, dass die Innenstadtstärkung zwar zur höheren Auslastung der bestehenden Einkaufszentren beiträgt, jedoch keinen signifikanten Bedarf nach weiterer Mietfläche in klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren generiert. Für die bereits in Bau oder Planung befindlichen Einkaufszentren wird eine im Mittel termingerechte Fertigstellung angenommen.

Statt auf den Neubau an neuen Standorten konzentrieren sich Investoren in diesem Szenario auf die Revitalisierung vorhandener Einkaufszentren, da deren Standortqualität verbessert wird. Daher werden mehr Abbrüche und Neubauten im Rahmen von Revitalisierungsmaßnahmen angenommen. Es wird davon ausgegangen, dass jährlich im Mittel gerundet 38.550 m² Mietfläche klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren in Innenstädten abgebrochen und neu errichtet werden. Dies entspricht dem Doppelten der zwischen 2013 und 2016 pro Jahr durchschnittlich für Revitalisierungen geschlossenen Mietfläche. Es wird angenommen, dass für den Neubau abgebrochener Einkaufszentren gemischte Nutzungskonzepte bzw. Quartiere geplant werden. Somit ist für diese ein verringerter Gebäudetechnikgehalt anzusetzen (Kapitel 5.3.5.1.).

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass Fachmarktzentren in Innenstädten im Rahmen von Revitalisierungen teilweise zu Hybrid-Centern aufgewertet werden. Im Materialflussmodell erzeugen sie dadurch einen Gebäudeinput aufgrund von Umnutzung. Der Datensatz des (EHI Retail Institute e.V. 2016b) zeigt für das Basisjahr 2016 zwölf Fachmarktzentren in Innenstädten. Es wird angenommen, dass auch bei Erweiterung der Mietfläche keine Aufstockung geschieht. Somit verbleiben sieben mehrstöckige Fachmarktzentren, bei welchen bei Aufwertung zu Hybrid-Centern mit dem Einbau von Fahrtreppen zu rechnen ist. Die Gebäudeaufnahme bzw. Lageplananalysen zeigten je Hybrid-Center trotz großer Mietfläche lediglich zwei Fahrtreppen zur Ebenenverbindung. Es wird daher in diesem Fall von der Bezugsgröße Mietfläche abgewichen und davon ausgegangen, dass je Gebäude zwei Fahrtreppen hinzukommen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die Revitalisierung der Fachmärkte nach der Fertigstellung der derzeit geplanten Einkaufszentren stattfindet, d.h. ab 2020, und pro Jahr eines aufgewertet wird.

Für Factory-Outlet-Center werden dieselben Annahmen getroffen wie im Szenario *Sättigung*. Ab 2020 werden jährlich 6.200 m² der Mietflächen in mehrstöckigen Immobilien in Innenstädten eröffnet, ab 2025 wächst dies auf 9.300 m² pro Jahr. Von einem größeren Mietflächenzuwachs wird trotz der

verbesserten Standortbedingungen der Innenstädte in diesem Szenario nicht ausgegangen. Die Eröffnung von Factory-Outlet-Centern trägt zwar zur Vielfältigkeit des Angebots in der Innenstadt bei, wird in zu großem Maße jedoch für Einkaufszentren und Warenhäuser zur Konkurrenz. Es wird angenommen, dass sich der in diesem Szenario veranschlagte Flächenzuwachs in einem stadtplanerisch nachhaltigen und sinnvollen Bereich befindet und mithilfe seiner Magnetwirkung auch Kunden für umliegende Einzelhandelsimmobilien anzieht.

Szenario *Überversorgung*: Dieses Szenario geht davon aus, dass zunächst die für 2018 und 2019 geplanten Baufertigstellungen geschehen. Bedingt durch den großen Investitionsdruck werden jedoch weitere Neubauprojekte gestartet, welche über den konkreten Bedarf an Einkaufszentren hinausgehen. Es wird angenommen, dass der Immobilienmarkt verzögert auf die Überversorgung reagiert, da zunächst eine sinkende Wirtschaftlichkeit der Einkaufszentren festgestellt werden muss, bevor die Renditen stark sinken und Investoren auf andere Anlagemöglichkeiten ausweichen. Dies wird für 2024 angenommen. Einkaufszentren, welche sich bis dahin schon im Bau befinden, werden dennoch fertiggestellt. Es wird von einer zweijährigen Bauzeit ausgegangen, sodass Neubauten bis einschließlich 2026 angenommen werden.

Abbildung 5-38 auf Seite 92 lässt zwischen etwa 1997 und 2019 einen annähernd linearen Anstieg der Bautätigkeit bzw. der geplanten Bautätigkeit erkennen. Es wird davon ausgegangen, dass die wenigen Fertigstellungen in den Jahren 2016 und 2017 eine Ausnahme darstellen und der Mietflächenzubau bis einschließlich 2026 daher pro Jahr dem jährlichen Mittel der Jahre 1997 bis 2019 entspricht. Dies sind insgesamt 230.870 m² Mietfläche pro Jahr. Weiterhin wird angenommen, dass nur der Standort Innenstadt gewählt wird, sofern für die entsprechenden Jahre noch keine Projekte in anderer Lage geplant bzw. im Bau sind.

Für klassische und multifunktionale Einkaufszentren wird weiterhin angenommen, dass bis einschließlich 2024 jährlich durchschnittlich 19.275 m² Mietfläche in Innenstädten im Rahmen von Revitalisierungen geschlossen und abgebrochen wird. Dies entspricht dem Jahresmittel des Zeitraumes 2013 bis 2016. Die neu gebauten Einkaufszentren werden jedoch mit um 25% erweiterter Mietfläche errichtet, d.h. sie erzeugen einen Neubau von gerundet 24.100 m² Mietfläche pro Jahr. Die auf den Flächen der 2024 abgebrochenen Einkaufszentren errichteten Neubauten werden ebenfalls bis 2026 fertiggestellt. Für die folgenden Jahre wird aufgrund der Überversorgung und der ausbleibenden Investitionen zunächst davon ausgegangen, dass keine Abbrüche und Neubauten im Rahmen der Revitalisierung stattfinden. Sobald sich der Immobilienmarkt nach der Bereinigung überschüssiger Mietflächen erholt hat (siehe Szenarioannahmen im nachfolgenden Kapitel 5.3.3.2), beginnen wiederum Abbruch und Neubau aufgrund von Revitalisierung. Der Neubau beginnt dabei ab 2038, dann jedoch ohne eine Vergrößerung der Mietflächen, d.h. er beträgt jeweils 19.275 m² pro Jahr.

Es wird nicht davon ausgegangen, dass in nennenswertem Umfang Fachmarktzentren zu Hybrid-Centern aufgewertet werden, da Revitalisierungen im Rahmen dieses Szenarios deutlich zurückhaltender stattfinden und die Standortqualität für Hybrid-Center nicht als sich verbessernd angenommen wird.

Hinsichtlich der Factory-Outlet-Center wird in diesem Szenario eine zumindest mittelfristige Nachfrage in Innenstädten angenommen. Es werden dieselben Annahmen getroffen wie im Szenario *Sättigung*. Ab 2020 werden jährlich 6.200 m² der Mietflächen in mehrstöckigen Immobilien in Innenstädten eröffnet, ab 2025 wächst dies auf 9.300 m² pro Jahr. Aufgrund der schlechten wirtschaftlichen Situation der klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren in diesem Szenario werden diese ab 2030 teilweise genutzt, um die benötigten Mietflächen für Factory-Outlet-Center durch Umnutzung bereitzustellen. Es wird angenommen, dass dadurch rund 50% des Mietflächenbedarfs, d.h. 4.650 m² der neu zu eröffnenden Factory-Outlet-Center gedeckt werden kann. Ungefähr die Hälfte dieser Zentren, d.h. 2.325 m² Mietfläche, erhält dabei im Rahmen einer Sanierung und ggf. einer räumlichen Umstrukturierung neue Fahrtreppen, die übrigen 2.325 m² können ohne Austausch der Fahrtreppen umgenutzt werden.

5.3.3.2 Gebäudeoutputs durch Abbruch und Umnutzungen

Zur Analyse der Gebäudeoutputs vergangener Jahre bestehen keine direkt verwendbaren Statistiken. Das Statistische Bundesamt führt Einkaufszentren unter der Kategorie „723 – Einzelhandelsgebäude“ im Signierschlüsselverzeichnis für Nichtwohngebäude (Statistisches Bundesamt 2014). Ohne weitere Differenzierung beinhaltet diese andere Handelsgebäudetypen wie Apotheken, Bestattungsinstitute, Gartenmärkte usw. (Statistisches Bundesamt 2008). Nach diesem Verzeichnis strukturierte Gebäudeabgangstatistiken können daher nicht genutzt werden.

Das EHI Retail Institute e.V. als zentraler Ansprechpartner für Einkaufszentren verfügt über keinerlei Statistik zu Abbrüchen oder Umnutzungen (Blume-Kolberg 2017). Daher wurde über einen Vergleich der EHI Shopping-Center Reports vergangener Jahre analysiert, ab wann welche Zentren in der Auflistung nicht mehr auftreten, um Rückschlüsse auf Schließungen zu ziehen. Verwendet wurden die vergangenen zwölf Berichte (EHI EuroHandelsInstitut e.V. 2000, 2002, 2003, 2004; EHI Retail Institute e.V. 2006, 2009, 2012, 2013, 2014, 2016a, 2017b, 2015, 2015, 2016a, 2017b).¹⁹ Teilweise wurden in diesen auch Einkaufszentren mit einer Verkaufsfläche von unter 10.000 m² aufgeführt und in späteren Jahrgängen bereinigt. Diese wurden aufgrund der für Einkaufszentren gewählten Definition bei der Analyse nicht berücksichtigt. Insgesamt fielen zwischen 2000 und 2017 zehn klassische Einkaufszentren aus der Statistik der Shopping-Center Reports heraus. Durch Recherche in regionalen Zeitungen wurde ermittelt, was mit den jeweiligen Immobilien geschah. Dies ist in Tabelle 5-14 aufgelistet. Sofern für das jeweils der letztmaligen Erwähnung nachfolgende Jahr ein Bericht des EHI Retail Institute e.V. vorliegt, kann die Schließung einem konkreten Jahr zugeordnet werden. In diesem Fall ist die Dauer bis zum Beginn der Nachnutzungsmaßnahmen in der Tabelle vermerkt.

Tabelle 5-14: Letzte Erwähnungen klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren in den Shopping-Center Reports des EHI Retail Institute e.V. sowie deren Nachnutzung und Dauer bis zur Nachnutzung

Name	letzte Erwähnung	Baujahr	Lage	Verkaufsfläche in m ²	Nachnutzung	Dauer bis Abbruch in a
Ihme-Zentrum, Hannover	2004	1974	Stadtteil	24.727	2018 Abbruch, Neubau Einkaufszentrum	-
Saale Park, Günthersdorf	2004	1991	Grüne Wiese	81.093	2005 Abbruch, Neubau Einkaufszentrum	0
Löhrhof-Center, Recklinghausen	2009	1992	Innenstadt	16.707	2012 Abbruch, Neubau Einkaufszentrum	-
Solingen Shopping Center	2012	1969	Innenstadt	12.354	unbekannt	-
Atrium, Bamberg	2013	1990	Innenstadt	16.970	Leerstand, keine konkrete Planung	3+
City Passage Bielefeld	2014	1977	Innenstadt	32.608	2015 Abbruch, Neubau Einkaufszentrum	0
Forum Löhertor, Fulda	2014	1984	Innenstadt	11.811	2017 Abbruch, Neubau Wohnungen, Gewerbe, Hotel	3
City Center Leverkusen	2015	1969	Innenstadt	15.000	2017 Abbruch, Neubau Wohnungen	1
Landsberger Einkaufspassagen, Berlin	2015	1993	Stadtteil	18.822	2016 Abbruch, Neubau Möbelhaus	-
Wollhaus im Zentrum, Heilbronn	2015	1975	Innenstadt	14.091	Nach 2018 Abbruch, Neubau Quartier	3+

Quellen für Nachnutzungen: (Hannoversche Allgemeine 2017; Mitteldeutsche Zeitung 2003; lokalkompass.de 2012; Textilwirtschaft 2014; nordbayern 2013, 2013; Beckmann et al. 2012; inFranken.de 2017; ECE Projektmanagement GmbH & Co. KG 2017; Fuldaer Zeitung 2016; Leverkusener Anzeiger 2016; Morgenpost 2016; stimme.de 2016)

¹⁹ Fehlende Jahre sind durch unregelmäßiges Erscheinen der Berichte begründet.

Alle Einkaufszentren mit feststehender Nachnutzung wurden abgebrochen, um den Bau von moderneren Einkaufszentren oder Gebäuden für anderweitige Nutzungen zu ermöglichen. Tabelle 5-15 fasst die Verkaufsflächen nach Nachnutzung differenziert zusammen. Der Neubau des Quartiers anstelle des „Wollhaus im Zentrum“ wurde dabei zur Hälfte als Einkaufszentrum und zur Hälfte als anderweitige Nutzung gezählt.

Tabelle 5-15: Nachnutzungen der untersuchten geschlossenen Einkaufszentren aus Tabelle 5-14

Nachnutzung	Verkaufsfläche in m ²	Anteil
Neubau eines Einkaufszentrums	162.181	75%
anderweitige Nutzung der Fläche	52.679	25%
unbekannt	29.324	-

In 75% der untersuchten Fälle mit feststehender Nachnutzung wurde ein neues Einkaufszentrum gebaut. Es ist davon auszugehen, dass in diesen Fällen die Standortqualität hoch ist und der Abbruch im Rahmen einer Revitalisierungsmaßnahme erfolgte. Wird die Fläche danach wie in 25% der betrachteten Fälle anderweitig genutzt, so ist davon auszugehen, dass der Standort nicht mehr tragfähig für ein Einkaufszentrum ist. Weiterhin sind Nachnutzungen unter Beibehalt der Bausubstanz und möglicherweise auch der Fahrtreppen denkbar, beispielsweise zu einem Factory-Outlet-Center oder zu einem Möbelfachmarkt, wie bei einem Fachmarktzentrum in Neu-Ulm (möbel kultur 2011).

Das Alter der Einkaufszentren zum Zeitpunkt der letzten Erwähnung in den Berichten reicht von 13 bis 46 Jahren und beträgt im Mittel 30 Jahre mit einer Standardabweichung von 11,3 Jahren. Es kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass das Alter maßgebend für die Schließung ist. Stattdessen werden als Gründe sehr individuelle Faktoren wie ein Verkaufsflächenüberschuss für den jeweiligen Standort oder ein unstimmliges Raumkonzept genannt (Hannoversche Allgemeine 2017).

Es ist auffällig, dass sich sieben der zehn aufgegebenen Einkaufszentren in Innenstädten befanden. Für die Standorte „Grüne Wiese“ und Stadtteil können keine aussagekräftigen Werte abgeleitet werden, da zwischen 2004 und 2017 lediglich ein bzw. zwei Schließungsfälle beobachtet wurden. Für den Standort Innenstadt ist die geschlossene Mietfläche der klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren in Abbildung 5-39 dargestellt. Die Schließung des Löhrhof Centers im Zeitraum zwischen den Berichten von 2009 und 2012 wurde für das Jahr 2011 angenommen. Es ist zu erkennen, dass in Innenstädten zwischen 2005 und bis zur Schließung des Löhrhof-Centers zwischen 2009 und 2012 keine Einkaufszentren geschlossen wurden. Seitdem steigt die Verkaufsfläche der geschlossenen Zentren tendenziell. Für den Zeitraum vor 2005 liegen keine Daten vor, sodass die Datengrundlage für die Herausarbeitung eines langfristigen Trends noch zu gering ist. Für die einzelnen Szenarien kann jedoch die gezeigte Entwicklung als Ausgangspunkt für Annahmen verwendet werden.

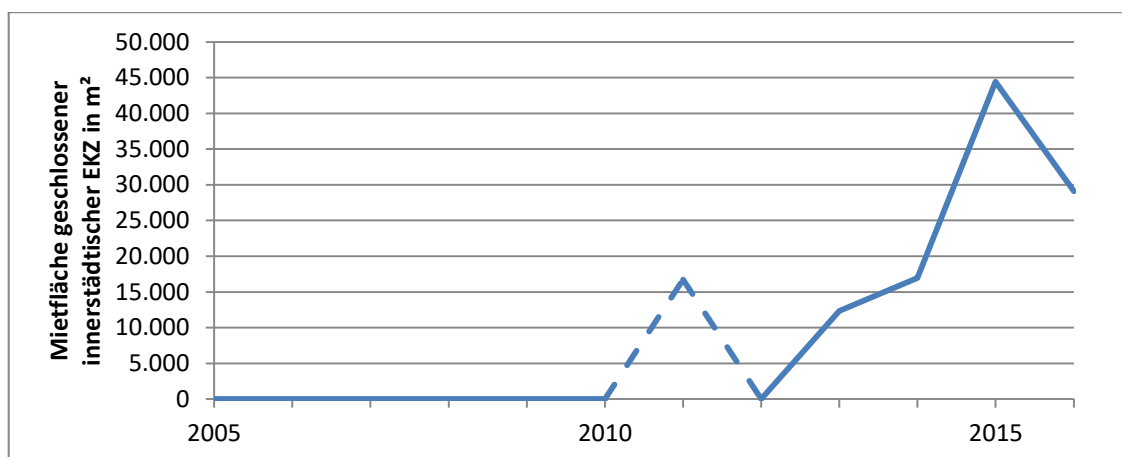


Abbildung 5-39: Geschlossene Mietflächen klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren in Innenstadtlage. Zeitpunkt des Werts für 2011 geschätzt, Datengrundlage: Tabelle 5-14.

Die Dauer bis zum Abbruch, welche für die untersuchten Fälle sofern rekonstruierbar ebenfalls in Tabelle 5-14 angegeben ist, hängt von der Art der Nachnutzung der Fläche ab. Wird beim Standort Innenstadt ein neues Einkaufszentrum gebaut, so wurde in den untersuchten Fällen in der Regel direkt im Anschluss an den Abbruch mit dem Neubau begonnen. Die Fahrtreppen werden daher innerhalb desselben Jahres der Schließung freigesetzt. Wird die Fläche jedoch anderweitig genutzt, so ist mit einer Verzögerung zu rechnen, in welcher das Einkaufszentrum leer steht, bis die Planungs- und Genehmigungsprozesse abgeschlossen sind. Dies ist vom jeweils individuellen Fallbeispiel abhängig. Bei den untersuchten Fällen lag die Dauer zwischen einem und mehr als drei Jahren.²⁰ Es wird daher bei allen Szenarien die Annahme von im Mittel drei Jahren getroffen. Der Abbruch wird im Materialflussmodell daher um jeweils drei Jahre nach einer Schließung angesetzt, wie es bereits beim Teilmodell Warenhäuser praktiziert wurde. Für Hybrid-Center wurden in den Berichten keine Informationen über Schließungen gefunden. Es wird daher davon ausgegangen, dass dieser Untertyp noch zu jung ist, um durch Abbruch und Neubau revitalisiert zu werden bzw. die Standortqualität ausreichend ist, um Hybrid-Center wirtschaftlich arbeiten zu lassen.

Szenario *Sättigung*: In diesem Szenario wird trotz der Sättigungsgrenze der Mietfläche von klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren davon ausgegangen, dass weiterhin Abbruch und Neubau als Maßnahme der Revitalisierung genutzt wird. Es wird weiterhin angenommen, dass der Großteil der Einkaufszentren mittelfristig noch wirtschaftlich arbeiten kann. Wie bisher werden allerdings einzelne Einkaufszentren aufgrund von schlechten Standortfaktoren geschlossen, sodass der Gesamtbestand auch unter die Sättigungsgrenze fallen kann.

Ausgehend von den ermittelten Schließungen seit 2005 wird für klassische und multifunktionale Einkaufszentren in Innenstädten angenommen, dass jedes Jahr eine konstante Mietfläche von Schließungen betroffen ist. Dazu wird der Mittelwert der geschlossenen Mietfläche der Jahre 2013 bis 2016 verwendet, d.h. gerundet 25.700 m². Dies entspricht dem jährlichen Durchschnitt der zwischen 2013 und 2016 für Revitalisierungen geschlossenen Mietflächen. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Schließungen zwar eine relativ neue Erscheinung sind, sich jedoch weiter fortsetzen werden. Bei 75%, d.h. 19.275 m² der geschlossenen Mietfläche geschieht der Abbruch im Rahmen einer Modernisierungsmaßnahme, um anschließend am selben Standort ein neues Einkaufszentrum zu bauen. Es wird davon ausgegangen, dass im Mittel keine Veränderungen der Mietflächengröße vorgenommen werden. Bei den verbliebenen 25%, d.h. 6.425 m² Mietfläche pro Jahr wird danach eine andere Flächennutzung angestrebt. Es wird angenommen, dass diese Standorte generell nicht für den Betrieb von Factory-Outlet-Centern oder anderen größeren Handelsimmobilien geeignet sind. Daher werden keine Umnutzungen angenommen.

Für Einkaufszentren in Stadtteilen und auf der „Grünen Wiese“ werden in diesem Szenario noch keine Annahmen zu Schließungen gemacht, da diese bislang einen Sonderfall darstellen. Ebenfalls wird angenommen, dass bei Hybrid-Centern und Factory-Outlet-Centern weiterhin keine Schließungen auftreten.

Szenario *Innenstadtstärkung*: Bei einer Stärkung der Innenstädte verbessert sich die Standortqualität für die dort vorhandenen Einkaufszentren. In diesem Szenario wird der Optimalfall angenommen, in dem daher keine Einkaufszentren in Innenstadtlagen mehr aufgrund wirtschaftlicher Gründe geschlossen werden. Infolge von Revitalisierungen werden in diesem Szenario 38.550 m² Mietfläche pro Jahr abgebrochen.

²⁰ Wie mehrere Beispiele zeigen, sind die Mietflächen der Einkaufszentren während dieser Verzögerung oft noch in Teilen vermietet (nordbayern 2013; stimme.de 2016; Leverkusener Anzeiger 2016; stimme.de 2016). Dass die entsprechenden Einkaufszentren dennoch bereits aus dem Datensatz des (EHI Retail Institute e.V. 2016b) entfernt wurden, deutet darauf hin, dass die tatsächlich genutzte Mietfläche ausschlaggebend für die Aufnahme in den Shopping-Center Report ist.

Hybrid-Center befinden sich im Regelfall nicht in Innenstädten und sind daher in diesem Szenario nicht von Veränderungen betroffen. Es wird daher angenommen, dass weiterhin keine Schließungen bei diesem Untertyp sowie auch bei den Factory-Outlet-Centern auftreten.

Szenario *Überversorgung*: Da in diesem Szenario die vorhandenen Einkaufszentren den tatsächlichen Bedarf der Kunden deutlich übersteigen, liegt eine insgesamt unwirtschaftliche Situation der Einkaufszentren vor. Bis verstärkt Schließungen zu verzeichnen sind, ist jedoch mit einer Übergangszeit zu rechnen. In dieser bestehen trotz wirtschaftlicher Probleme des Einkaufszentrums noch Mietverträge und es wird eine sogenannte „Abschöpfungsstrategie“ angewendet, d.h. noch so viel Gewinn wie möglich aus der Immobilie erwirtschaftet, ohne dass Investitionen getätigt werden.

Es wird angenommen, dass die für das Szenario *Sättigung* ermittelte Sättigungsgrenze ungefähr der Gesamtmietfläche der klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren entspricht, welche für Gesamtdeutschland wirtschaftlich ist. Darüber hinausgehende Mietfläche wird jeweils mit einer Verzögerung von 5 Jahren geschlossen. Somit werden zwischen 2030 und 2034 verstärkt Einkaufszentren abgebrochen. Es wird angenommen, dass aufgrund der Neubaukonzentration auf die Innenstädte die Konkurrenzsituation sich hauptsächlich dort konzentriert und lediglich Schließungen in Innenstadtlagen zu verzeichnen sind. Für die Jahre davor und danach wird der ebenfalls beim Szenario *Sättigung* angenommene Abbruch von 6.425 m² Mietfläche pro Jahr verwendet.

Ebenfalls geschehen in diesem Szenario Abbrüche von 19.275 m² Mietfläche pro Jahr als Maßnahme zur Revitalisierung, zunächst jedoch nur bis zum Jahr 2024. Nachdem sich der Markt durch Schließung und Abbruch der überschüssigen Mietfläche erholt hat, beginnen auch Abbruch und Neubau im Rahmen der Revitalisierungen erneut. Die ersten Abbrüche in gleicher Höhe wie bis zum Jahr 2024 werden für das Jahr 2036 angenommen.

5.3.3.3 Modernisierungen

Neue Trends, Lebensstile und Produkte sowie wachsende Marktanteile des Onlinehandels verändern beständig die Bedürfnisse der Konsumenten hinsichtlich des Warenangebots und des Einkaufserlebnisses im stationären Einzelhandel (Astrup 2017). Daher können Einkaufszentren trotz gleichbleibender Standortqualität unwirtschaftlich werden (German Council Magazin 2017b). Sie müssen sich diesen Veränderungen anpassen, um weiterhin konkurrenzfähig zu bleiben. Eine Maßnahme dazu sind Modernisierungen, welche in der Branche der Einkaufszentren meist als Revitalisierungen oder Refurbishments bezeichnet werden.

Bei Einkaufszentren wird eine Revitalisierung spätestens alle 10 Jahre empfohlen (Müller 2017; Sonae Sierra 2010). Teils wird schon von Revitalisierungszyklen von 7 oder 5 Jahren gesprochen (Müller 2016g; Osadnik 2013). Die umfangreiche Revitalisierung bestehender Immobilie besitzt gegenüber dem Neubau den Vorteil, dass die Neueröffnung aufgrund der einfacher abzuwickelnden Genehmigungsphase bis zu zwei Jahre früher erfolgen kann (German Council Magazin 2017b; Müller 2016d). Daher und auch aufgrund des Nachfrageüberschusses nach Neubauprojekten werden Revitalisierungen als attraktive Investitionsmöglichkeit und Alternative zu Neubauprojekten betrachtet (Hager 2016; German Council Magazin 2016a). Dennoch besteht in den deutschen Einkaufszentren derzeit sehr hoher Revitalisierungsbedarf. Eine Analyse des Datensatzes (EHI Retail Institute e.V. 2016b) zeigte, dass 200 der insgesamt 386 klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren sowie Hybrid-Center vor mehr als zehn Jahren erbaut bzw. letztmalig revitalisiert wurden. Die empfohlenen Regelzeiten werden nur in wenigen Fällen eingehalten (Riemer 2012).

Ein Grund für den Revitalisierungstau trotz zahlreicher Investoren sind schlechte Standortqualität oder mangelnde Zukunftsfähigkeit der zu revitalisierenden Zentren (Müller 2016a). Vor allem in den neuen Bundesländern, in Klein- und Mittelstädten, außerhalb von Innenstädten sowie für kleinere Einkaufszentren besteht überdurchschnittlicher Revitalisierungsbedarf (Sonae Sierra 2010). Dies sind genau die Standorte, welche nach der Analyse der Wirtschaftlichkeit in Kapitel 5.3.2 als problematisch einzustufen sind und für welche auch bei Neubauprojekten keine nennenswerte Nachfrage bei

Investoren besteht. Hinzu kommen weitere Faktoren wie Denkmalschutzauflagen, Interessenskonflikte zwischen Investor und Anwohnern bzw. Kommune sowie gesetzliche Vorgaben für Energieeinsparung und Wärmeschutz, welche bei baulichen Tätigkeiten an den Bestandsgebäuden durch Nachrüstungen erfüllt werden müssen und hohe Investitionen bedeuten (Müller 2016h; Riemer 2012; Der Westen 2009; Müller 2016h).

Eine Revitalisierung kann verschiedene Maßnahmen beinhalten. Diese reichen von einer optischen Erneuerung des Zentrums über die Installation interaktiver Informationstafeln oder Smartphone-Apps bis hin zu einer neuen Zusammenstellung der Mieter, Umstrukturierung der Flächen und kompletter Sanierung. Ein Austausch von Fahrtreppen findet somit nicht bei jeder Revitalisierung statt. Es wurden daher die sieben größten Betreibergesellschaften von deutschen Einkaufszentren befragt, wie oft im Rahmen von Revitalisierungen Fahrtreppen in den von Ihnen betriebenen Zentren ausgetauscht oder modernisiert werden. Die meisten der Befragten verfügten noch über keine Erfahrungswerte. Bei der KOPRIAN iQ MANAGEMENT GmbH²¹ wurden bislang Fahrtreppen innerhalb der Mall bei baulichen Veränderungen des Zentrums sofern möglich lediglich versetzt. Bei veralteten Fahrtreppen wird zunächst eine Generalüberholung angestrebt, d.h. ein Austausch von Verschleißteilen wie Stufen, Handlauf oder Teilen der Mechanik (Schulz 2017). Bei der ECE Projektmanagement GmbH & Co. KG²² wird von einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 25 bis 30 Jahren ausgegangen (Schlicht 2017).

Es wird in allen Szenarien davon ausgegangen, dass im Rahmen von Sanierungen die Fahrtreppen in Einkaufszentren erst nach Ende ihrer Nutzungsdauer ausgetauscht werden. Diese Annahme wird gestützt durch die Analyse der Modernisierungen von Warenhausfilialen, bei denen Fahrtreppen aufgrund des hohen Kosten- und Zeitaufwands ebenfalls erst zum Ende der Nutzungsdauer ausgetauscht werden (Kapitel 5.2.3.3). Dieser Austausch wird daher nicht auf der Gebäudeebene im Rahmen der Modernisierungen betrachtet, sondern direkt auf der Betrachtungsebene *Gebäudetechnik* beim Treiber *Nutzungsdauer* berücksichtigt.

Weiterhin wird in der Immobilienbranche auch der Abbruch eines alten und Bau eines neuen Einkaufszentrums auf der gleichen Fläche als Revitalisierungsmaßnahme verstanden. Die anschließenden Neubauten können eine abweichende Mietfläche besitzen, wenn die Standortanalyse bei der Planung des Einkaufszentrums einen höheren oder niedrigeren Bedarf seitens der Kunden ergab. Da der Neubau in der Regel eine vollkommen neue Architektur gegenüber der abgebrochenen Immobilie besitzt, ist es aus Sicht des Materialflussmodells hingegen logischer, diese In- und Outputs nicht im Rahmen des Treibers *Modernisierung*, sondern im Treiber *Abbruch* bzw. *Neubau* zu betrachten. Für Neubauten ist dies außerdem sinnvoll, da in der Datengrundlage keine Informationen darüber vorliegen, welche Bestandsgebäude infolge von Revitalisierungen oder als Neustandorte entstanden.

5.3.3.4 Übersicht der festgelegten Szenario-Eingangswerte für das Materialflussmodell

Nachfolgend werden in Tabelle 5-16 und Tabelle 5-17 alle vorangehend festgelegten Variablenwerte für die Gebäudeebene im Teilmodell Einkaufszentren aufgelistet.

Tabelle 5-16: Für alle Szenarien einheitlich festgelegte Eingangswerte des Teilmodells Einkaufszentren auf Gebäudeebene

Variable	Wert
Mietfläche Lager im Basisjahr 2016 für klassische und multifunktionale Einkaufszentren	
Standort Grüne Wiese	1.086.150 m ²
Standort Stadtteil	3.815.650 m ²
Standort Innenstadt	4.818.760 m ²

²¹ Mietfläche Stand 2017: 231.000 m² nach (EHI Retail Institute e.V. 2017b), nur Einkaufszentren über 10.000 m² Mietfläche berücksichtigt.

²² Mietfläche Stand 2017: 3.014.000 m² nach (EHI Retail Institute e.V. 2017b), nur Einkaufszentren über 10.000 m² Mietfläche berücksichtigt.

Mietfläche Lager im Basisjahr 2016 für Hybrid-Center		
Standort Grüne Wiese		112.600 m ²
Standort Stadtteil		178.520 m ²
Standort Innenstadt		16.970 m ²
Verzögerung des Abbruchs nach Schließung		
bei Nachnutzung Einkaufszentrum		0 a
bei anderer Nachnutzung		3 a
Neubauten ²³		
2017, Innenstadt / Stadtteil	30.000 m ² /	0 m ²
2018, Innenstadt / Stadtteil	147.400 m ² /	66.300 m ²
2019, Innenstadt / Stadtteil	219.700 m ² /	13.000 m ²
2020, Innenstadt / Stadtteil	0 m ² /	65.000 m ²
2021, Innenstadt / Stadtteil	0 m ² /	80.000 m ²

Tabelle 5-17: Festgelegte Eingangswerte der verschiedenen Szenarien des Teilmodells Einkaufszentren auf Gebäudeebene

	Szenario		
	<i>Sättigung</i>	<i>Innenstadtstärkung</i>	<i>Überversorgung</i>
Neubau (jeweils ausschließlich am Standort Innenstadt)			
Klassische und multifunktionale Einkaufszentren	Neueröffnung 2022 bis 2025: 122.000 m ² /a	-	2020 bis 2026: 230.870 m ² /a
	Revitalisierung: 19.275 m ² /a	38.550 m ² /a als Quartier	2017 bis 2026: 24.100 m ² /a ab 2038: 19.275 m ² /a
Factory-Outlet-Center (mehrstöckig)	2020 bis 2024: 6.200 m ² /a ab 2025: 9.300 m ² /a	2020 bis 2024: 6.200 m ² /a ab 2025: 9.300 m ² /a	2020 bis 2024: 6.200 m ² /a 2025 bis 2029: 9.300 m ² /a ab 2030: 4.650 m ² /a
Input durch Umnutzung (jeweils ausschließlich am Standort Innenstadt)			
Hybrid-Center (mehrstöckig)	-	2020 bis 2026 je eines aus einem mehrstöckigen Fachmarktzentrum	-
Factory-Outlet-Center (mehrstöckig)	-	-	ab 2030: 4.650 m ² /a aus klassischen & multifunktionellen Einkaufszentren, davon je 2.325 m ² mit bzw. ohne Beibehalt der Fahrtreppen
Abbruch (jeweils ausschließlich am Standort Innenstadt)			
Klassische und multifunktionale Einkaufszentren	andere Nachnutzung: 6.425 m ² /a	-	2017 bis 2029: 6.425 m ² /a 2030 bis 2034: jeweils der acht Jahre zuvor über die Sättigungsgrenze neu gebaute Betrag abzüglich Outputs durch Umnutzung ab 2035: 1.775 m ² /a
	Revitalisierung: 19.275 m ² /a	38.550 m ² /a	2017 bis 2024: 19.275 m ² /a ab 2036: 19.275 m ² /a
Output durch Umnutzung (jeweils ausschließlich am Standort Innenstadt)			
Klassische und multifunktionale Einkaufszentren	-	-	ab 2030: 4.650 m ² /a zu Factory-Outlet-Centern, davon je 2.325 m ² mit bzw. ohne Beibehalt der Fahrtreppen

²³ Annahmen auf Grundlage der geplanten, genehmigten und/oder bereits im Bau befindlichen Einkaufszentren zum Stand des EHI Shopping-Center Report 2017.

5.3.4 Gebäudetechnikgehalt und Gebäudetechniklager

Bei Gebäudeaufnahmen wurden insgesamt 755 Fahrtreppen in 44 klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren in verschiedenen deutschen Städten sowie zwei Fahrtreppen in einem Hybrid-Center ermittelt. Anhand dieser Stichproben wird zunächst analysiert, ob hinsichtlich verschiedener Standorte Unterschiede im Fahrtreppengehalt bestehen. Anschließend werden Gebäudetechnikgehalte generiert und damit die Gebäudetechniklager für das Basisjahr 2016 ermittelt.

In Tabelle 5-18 sind die ermittelten Fahrtreppenzahlen der untersuchten klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren mit mehreren Verkaufsebenen dargestellt sowie ihr Verhältnis zur Anzahl der Verkaufsebenen bzw. zur Mietfläche in 1.000 m². Die Einkaufszentren wurden dabei nach ihrem Standort differenziert. Dadurch kann analysiert werden, ob und wie stark sich dieser Parameter auf die Anzahl der vorhandenen Fahrtreppen auswirkt, um spezifische Fahrtreppengehalte für verschiedene Kombinationen von Untertyp und Standort festzulegen.

Tabelle 5-18: Ermittelte Fahrtreppenzahl klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren mit mehreren Verkaufsebenen

Standort	Anzahl Zentren	Fahrtreppen in Stück				Fahrtreppen pro Verkaufsebene				Fahrtreppen pro 1.000 m ² Mietfläche			
		min	max	Mittelwert	SA	min	max	Mittelwert	SA	min	max	Mittelwert	SA
Grüne Wiese	2	18	29	23,5	7,8	4,5	5,8	5,2	0,9	0,32	0,32	0,32	0,0
Stadtteil	20	2	48	14,1	10,4	1,0	16,0	4,6	3,7	0,10	0,83	0,42	0,2
Innenstadt	22	4	54	19,4	12,5	1,3	18,0	6,2	3,6	0,22	1,75	0,68	0,4
Summe	44	2	54	15,9	11,6	1,0	18,0	5,4	3,6	0,10	1,75	0,54	0,3

Legende: min: Minimum, max: Maximum, SA: Standardabweichung

Daten zu Mietflächen entnommen aus (EHI Retail Institute e.V. 2016b)

Der Fahrtreppengehalt zeigt in Bezug auf die Verkaufsebenen deutlich größere Standardabweichungen als bezogen auf die Mietfläche. Dies bestätigt die Wahl der Mietfläche als Bezugsgröße. Zudem wird ersichtlich, dass der Standort den Fahrtreppengehalt beeinflusst. Klassische und multifunktionale Einkaufszentren auf der „Grünen Wiese“ haben im Schnitt die geringste Anzahl Fahrtreppen pro 1.000 m² Mietfläche, Einkaufszentren in Innenstädten die höchste.

Aufgrund der deutlich geringeren Dichte und der schlechteren Erreichbarkeit des Standorts „Grüne Wiese“ konnten für diesen nur zwei Gebäudeaufnahmen durchgeführt werden. Das Main-Taunus-Zentrum besitzt aufgrund einer ebenerdigen Mall lediglich innerhalb von Geschäften Fahrtreppen. Das weiterhin untersuchte Einkaufszentrum LOOP5 verfügt hingegen über vier Verkaufsebenen und hauptsächlich in der Mall befindliche Fahrtreppen. Beide Einkaufszentren besitzen trotz der baulichen Unterschiede den gleichen Fahrtreppengehalt bezogen auf die Mietfläche.

Einkaufszentren mit nur einer Verkaufsebene verfügen in der Regel nicht über Fahrtreppen. Denkbar sind diese theoretisch, um beispielsweise Parkflächen auf anderen Gebäudeebenen zu erreichen. Bei der Aufnahme von zwei Einkaufszentren mit jeweils einer Verkaufsebene konnten keine Hinweise auf Fahrtreppen gefunden werden. Dies muss im Gebäudetechnikgehalt berücksichtigt werden. Daher wird je Standort der in Tabelle 5-19 angegebene prozentuale Anteil der Einkaufszentren mit mehreren Verkaufsebenen ermittelt. Durch Multiplikation mit den Mittelwerten der Fahrtreppengehalte pro 1.000 m² Mietfläche aus Tabelle 5-18 ergeben sich die in Tabelle 5-20 nach den Standorten „Grüne Wiese“, Stadtteil und Innenstadt differenzierten Gebäudetechnikgehalte sowie Gebäudetechniklager im Basisjahr 2016. Insgesamt ist für das Basisjahr ein Lager von 4.305 Fahrtreppen anzunehmen. Die Gebäudetechnikgehalte der drei Standorte gelten für den Gebäudebestand im Basisjahr. Für Neubau in Innenstädten ist ein spezieller Gebäudetechnikgehalt notwendig, da in den Szenarien von einer Flexibilisierung der Mietflächen beim Standort Innenstadt ausgegangen wird. Infolge dieser werden zukünftig Fahrtreppen innerhalb von Geschäften vermieden. Für das Szenario *Innenstadtstärkung* wird zudem ein separater Gebäudetechnikgehalt für den Neubau von innenstädtischen Einkaufszentren in Quartieren benötigt. Die Ermittlung dieser beiden Gehalte sowie die Erläuterung der zugrunde liegenden Annahmen befindet sich in Kapitel 5.3.5.1.

Tabelle 5-19: Prozentualer Anteil der klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren mit mehreren Verkaufsebenen an der Mietfläche, Mietflächen agglomeriert aus (EHI Retail Institute e.V. 2016b)

Standort	Mietfläche in m ²	Mietfläche von EKZ mit mehreren Verkaufsebenen in m ²	Anteil der EKZ mit mehreren Verkaufsebenen
„Grüne Wiese“	1.086.150	616.780	57%
Stadtteil	3.815.650	2.984.290	78%
Innenstadt	4.818.760	4.209.460	87%

Tabelle 5-20: Berechnung des Gebäudetechniklagers klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren im Basisjahr 2016

Standort	Gebäudetechnikgehalt in Stück Fahrtreppen je 1.000 m ² Mietfläche	Mietfläche 2016 in m ²	Gebäudetechniklager Basisjahr 2016
„Grüne Wiese“	0,18	1.086.150	197
Stadtteil	0,33	3.815.650	1.244
Innenstadt (Basisjahr 2016)	0,59	4.818.760	2.865
Innenstadt (Neubau)	0,50	0	0
Innenstadt (Neubau Quartier)	0,17	0	0
Summe	-	9.720.560	4.305

Mietflächen agglomeriert aus (EHI Retail Institute e.V. 2016b)

Eine weitere Abhängigkeit zur Anzahl der Ebenen wie im Teilmodell Warenhäuser wird dabei nicht hergestellt, da die Einkaufszentren in der Regel über deutlich weniger Ebenen verfügen und deren Einfluss daher zu vernachlässigen ist.

Aufgrund der deutlich geringeren Dichte und der schlechten Erreichbarkeit der Hybrid-Center konnte für diese nur eine Gebäudeaufnahme durchgeführt werden. Zusätzlich ließen Lagepläne auf den Internetpräsenzen von drei Hybrid-Centern Rückschlüsse auf die Anzahl der Fahrtreppen zu, diese wurden daher ebenfalls berücksichtigt. Die vier untersuchten Hybrid-Center verfügten jeweils über zwei Verkaufsebenen sowie zwei Fahrtreppen in der Mall. Bezogen auf die große Mietfläche der Hybrid-Center ist der Fahrtreppengehalt sehr gering, jedoch zeigt dies, dass die Aufwertung bzw. Weiterentwicklung der Fachmärkte hin zu Hybrid-Centern zum Einbau von Fahrtreppen führen kann. Eine Untersuchung von vier Fachmarktzentren mit ebenfalls je zwei Verkaufsebenen zeigte, dass diese lediglich über Fahrsteige, nicht jedoch über Fahrtreppen verfügen.

Da die Anzahl der Fahrtreppen je Hybrid-Center unabhängig von der Mietfläche gleich groß war, wird der Faktor *Gebäudetechnikgehalt* pro Gebäude verwendet, d.h. zwei Fahrtreppen je mehrstöckigem Hybrid-Center. Davon gibt es im Basisjahr insgesamt fünf, sodass ein Lager von zehn Fahrtreppen besteht.

5.3.5 Treiber auf der Gebäudetechnikebene

Auf der Gebäudetechnikebene müssen ebenfalls Annahmen zum Zubau bzw. Abbau von Fahrtreppen gemacht werden sowie eine Prognose zu den zukünftig auszutauschenden Fahrtreppen am Ende der Nutzungsdauer. Diese muss für das Teilmodell separat ermittelt werden, da sie aufgrund unterschiedlicher Anforderungen an die Fahrtreppen hinsichtlich Beanspruchung, Optik etc. von der Nutzungsdauer der Fahrtreppen in beispielsweise Warenhäusern unterscheiden kann.

5.3.5.1 Zubau und Abbau

Wie auch bei Warenhäusern wird davon ausgegangen, dass die Anzahl der Fahrtreppen in der Mall der Einkaufszentren bei der Planung sehr genau kalkuliert wird. In den oberen Ebenen befindliche Geschäfte sind darauf angewiesen, möglichst bequem und ohne Aufwand erreicht werden zu können. Daher müssen entsprechende Fahrtreppen in ausreichender Zahl vorhanden sein. Ein Ersatz der bestehenden Fahrtreppen durch Aufzüge oder Treppen erscheint daher unrealistisch, da dadurch der Kundenverkehr stark abgebremst wird bzw. Kunden weniger stark zur Frequentierung der oberen Ebenen motiviert werden. Daher wird davon ausgegangen, dass Zubau bzw. Abbau von Fahrtreppen in

der Mall einen Ausnahmefall darstellt, der im Materialflussmodell nicht berücksichtigt werden muss. Fahrtreppen in Mietflächen, d.h. innerhalb von Geschäften hingegen werden teilweise entfernt, um separate, eingeschossige Mietflächen zu erhalten (Schulz 2017; Knoll 2017). Dies erhöht die Flexibilität und kommt dem Wunsch vieler Mieter nach kleineren Mietflächen entgegen (Müller 2016g). Da im Rahmen der Literaturrecherche und der Expertenbefragungen keine konkreten Daten gewonnen werden konnten, wie oft dieser Fall im Rahmen der Modernisierungen auftritt, muss eine Annahme getroffen werden. Diese wird als Minderung der Gesamtmenge an Fahrtreppen innerhalb der Geschäfte ausgedrückt.

Tabelle 5-21 zeigt die Anzahl und den Anteil der bei Gebäudeaufnahmen ermittelten Fahrtreppen von klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren verschiedener Standorte in der Mall-Fläche sowie in der Mietfläche.

Tabelle 5-21: Anzahl und Anteile der Fahrtreppen klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren in der Mall bzw. Mietfläche verschiedener Standorte

Standort	Fahrtreppen in Mall		Fahrtreppen in Mietfläche	
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
„Grüne Wiese“	14	30%	33	70%
Innenstadt	256	60%	171	40%
Stadtteil	202	72%	79	28%

Beim Standort „Grüne Wiese“ wird davon ausgegangen, dass in der Regel kein Abbau der Fahrtreppen innerhalb der Mietflächen stattfindet. Bei dem untersuchten Einkaufszentrum an diesem Standort, welches über Fahrtreppen innerhalb der Mietflächen verfügte, waren diese notwendig, da die Mall ebenerdig verlief und die oberen Verkaufsebenen nicht erschloss.

Bei Einkaufszentren in Stadtteilen ist der Anteil der sich in Mietflächen befindenden Fahrtreppen mit 28% verhältnismäßig gering. Bei den Gebäudeaufnahmen wurde deutlich, dass dort Ankermieter wie Karstadt, Kaufhof, Primark oder Saturn aufgrund ihres großen Sortiments im Regelfall über sehr große Mietflächen verfügen. Es wird nicht davon ausgegangen, dass sich diese Ketten in Zukunft auf deutlich kleinere Flächen beschränken, da dies eine starke Reduzierung des Sortiments erfordern würde. Daher wird angenommen, dass auch bei Stadteillage keine wesentliche Reduzierung der Fahrtreppen innerhalb der Mietflächen vorgenommen wird.

Für Einkaufszentren in Innenstädten hingegen beträgt der Anteil der Fahrtreppen innerhalb der Mietflächen 40%. Die Gebäudeaufnahmen dieser Einkaufszentren zeigen, dass hierbei auch verhältnismäßig kleine Mietflächen beispielsweise von Buchläden oder kleineren Bekleidungstextilgeschäften auf zwei Ebenen aufgeteilt und mit verbindenden Fahrtreppen ausgestattet sind. Es wird angenommen, dass die Anzahl der Fahrtreppen in den bestehenden Mietflächen kontinuierlich verringert wird, bis ihr Anteil im Jahr 2030 ebenfalls 28% der entsprechend gesunkenen Gesamtmenge entspricht. Ab diesem Zeitpunkt wird analog der Annahmen für Einkaufszentren in Stadteillage davon ausgegangen, dass die verbliebenen Fahrtreppen weiterhin benötigt werden. Im Basisjahr 2016 betrug der Fahrtreppenbestand in den klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren der Innenstädte 2.865 Fahrtreppen (siehe Tabelle 5-20). Davon befinden sich 60%, d.h. 1.719 Fahrtreppen in der Mall, welche beibehalten werden. Nach der Reduzierung sollen sie 72% entsprechen. Der Fahrtreppenbestand nach der Reduzierung beträgt somit 2.388 Fahrtreppen. Daraus ergibt sich eine Differenz um 477 Fahrtreppen. Für einen linearen Rückgang von 2017 bis 2030 müssen jährlich 34 Fahrtreppen entfernt werden.

Für Neubauten in Innenstädten wird angenommen, dass bei der Planung bereits die verringerte Menge an Fahrtreppen in Mietflächen veranschlagt wird. Das bedeutet, dass sich der Faktor *Gebäudetechnikgehalt* für die Umrechnung der Inputs der Gebäudeebene auf die Gebäudetechnikebene verringert. Er kann aus dem Gebäudetechnikgehalt des Bestands von 2016 mithilfe des Skalierfaktors $2.388 / 2.865$ gewonnen werden und beträgt 0,50 Fahrtreppen je 1.000 m² Mietfläche.

Werden die Neubauten als Quartiere angelegt, so ist mit einer Reduzierung der Anzahl der Verkaufsebenen zu rechnen. Es wird angenommen, dass bei Quartieren nur noch 30% anstatt wie bislang 87% der Einkaufszentren in Innenstädten mehr als eine Verkaufsebene besitzen. Ihr Faktor *Gebäudetechnikgehalt* entspricht daher $30\% / 87\%$ des soeben berechneten Gebäudetechnikgehalts von Neubauten in Innenstädten, d.h. es sind 0,17 Fahrtreppen je 1.000 m² Mietfläche zu erwarten.

5.3.5.2 Austausch von Fahrtreppen am Ende ihrer Nutzungsdauer

Bei einer Umfrage unter den acht größten Betreibergesellschaften von Einkaufszentren konnte nur von einer Gesellschaft ein konkreter Schätzwert für die Nutzungsdauer der Fahrtreppen angegeben werden, dieser betrug 25 bis 30 Jahre (Kapitel 5.3.3.3).

Im Rahmen der 44 Gebäudeaufnahmen wurde sofern möglich das Einbaujahr der Fahrtreppen vom Typenschild abgelesen. War ein solches nicht vorhanden, so wurde es geschätzt wie beim Teilmodell Warenhäuser in Kapitel 5.2.5.2 erläutert. Abbildung 5-40 zeigt die Anzahl der Fahrtreppen, welche je abgelesenem oder geschätztem Einbaujahr vorgefunden wurden.

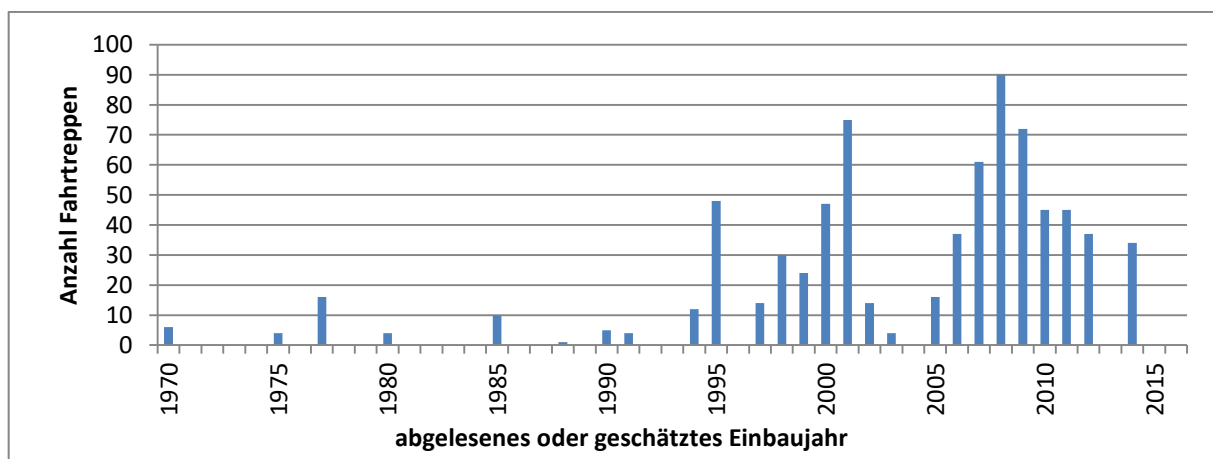


Abbildung 5-40: Abgelesenes oder geschätztes Einbaujahr der Fahrtreppen in klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren bei 44 Gebäudeaufnahmen Ende 2016 und Anfang 2017.

Zwar lagen bei der Gebäudeaufnahme einzelne Fahrtreppen vor, welche deutlich älter als 30 Jahre sind, der Großteil der Fahrtreppen war jedoch jünger als 20 Jahre. Da der Großteil der klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren in Deutschland jünger ist als 30 Jahre, kann aus dieser Verteilung allein nicht auf eine Nutzungsdauer geschlossen werden. Die Tatsache, dass auch bei älteren Einkaufszentren kaum Fahrtreppen von mehr als 30 Jahren gefunden wurden, lässt jedoch den Schluss zu, dass 30 Jahre eine sinnvolle Annahme für die Nutzungsdauer ist. Diese wird unabhängig des Standortes des Einkaufszentrums getroffen.

Im Gegensatz zum Teilmodell Warenhäuser beinhaltet der Datensatz für Einkaufszentren Informationen über das Baujahr jeder einzelnen Immobilie. Daraus kann eine Schätzung der Altersverteilung der derzeit vorhandenen Fahrtreppen in den Einkaufszentren erstellt werden.

Während der Gebäudeaufnahmen zeigte sich, dass vor allem innerhalb von Mietflächen teilweise Fahrtreppen späteren Baujahres zu finden waren als innerhalb der Mall. Zudem führten Erweiterungen des Einkaufszentrums zu weiteren, jüngeren Fahrtreppen. Dies im Rahmen des Modells auszudifferenzieren ist jedoch nicht möglich, da für beide Fälle keine statistischen Daten vorliegen und die Einzelfälle zu individuell sind, um eine Systematik zu erkennen.

Bei klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren wird der jährliche Zubau an Mietfläche aus Abbildung 5-31 mit dem Gebäudetechnikgehalt des jeweiligen Standorts multipliziert. Für länger als 30 Jahre bestehende Einkaufszentren wird vereinfachend angenommen, dass die Fahrtreppen in

ebenjenem Turnus ausgetauscht wurden. Sie werden 30 Jahre später als 2. Generation berücksichtigt. Somit ergeben sich die in Abbildung 5-41 dargestellten näherungsweisen Einbaujahre der Fahrtreppen.

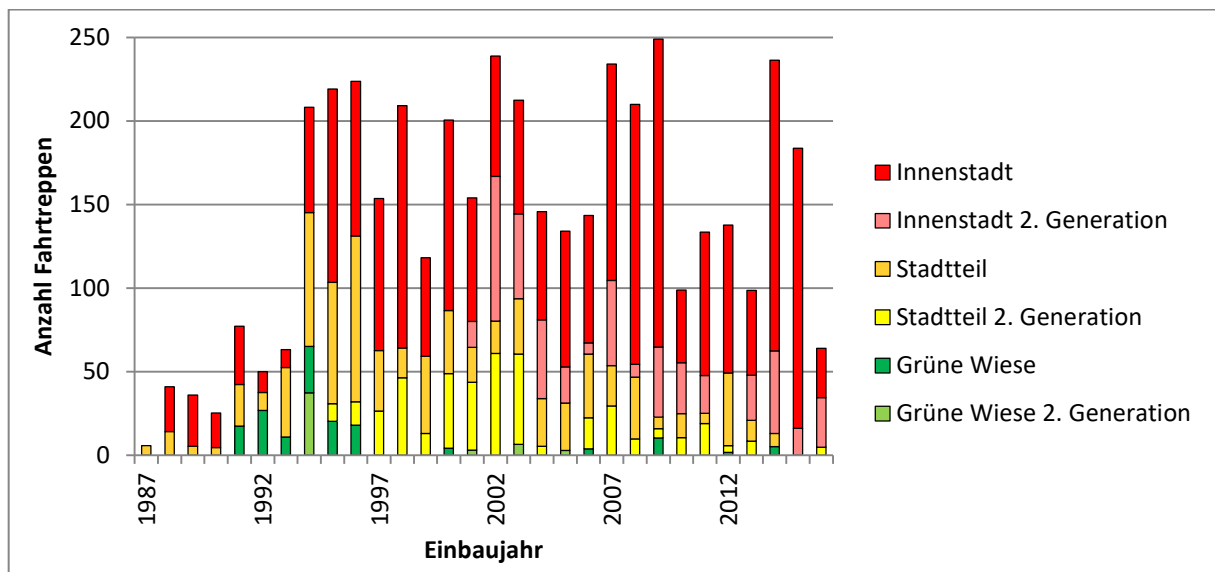


Abbildung 5-41: Genäherte Einbaujahre der Fahrtreppen in klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren.

Wie in Kapitel 5.2.5.2 erläutert, lässt sich über eine Normalverteilung für jedes kommende Jahr der Fahrtreppenaustausch annähern. Als Erwartungswert μ wird eine Nutzungsdauer von 30 Jahren verwendet und als Standardabweichung σ wie bei Warenhäusern 5 Jahre angenommen. Einbaujahre nach 2016 sind vom Beitrag her vernachlässigbar gering. Daher kann die in Abbildung 5-42 dargestellte Annahme des zukünftigen Austauschs von Fahrtreppen zum Ende ihrer Nutzungsdauer für alle Szenarien verwendet werden.

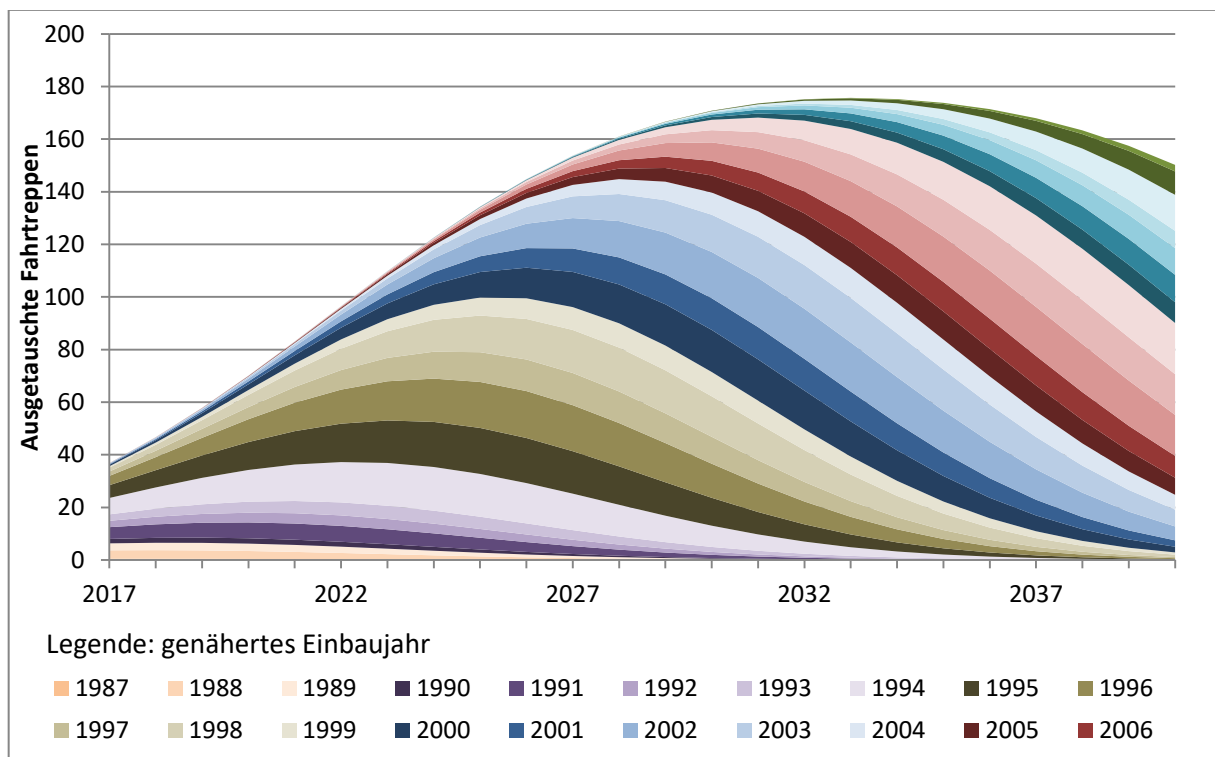


Abbildung 5-42: Annahme des zukünftigen Austauschs von Fahrtreppen zum Ende der Nutzungsdauer in klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren.

In den kommenden zwei Dekaden ist mit einem starken Anstieg der Anzahl der Fahrtreppen am Ende ihrer Nutzungsdauer zu rechnen. Dies ist auf den starken Zubau an Mietfläche zwischen den 1990er Jahren und etwa 2010 zurückzuführen.

Für Hybrid-Center werden keine Annahmen zum Austausch der Fahrtreppen am Ende ihrer Nutzungsdauer gemacht. Zum einen liegen für die Nutzungsdauer bei diesem vergleichsweise neuen Untertyp noch keine Schätzungen und Erfahrungen vor, zum anderen ist die Gesamtmenge der Fahrtreppen in den Hybrid-Centern so gering, dass ihr Austausch keinen nennenswerten Unterschied macht. Bei den Factory-Outlet-Centern wird davon ausgegangen, dass die Neubauten ab 2020 in den Szenarien bis 2040 noch keinen Austausch der Fahrtreppen benötigen.

5.3.6 Rohstoffgehalte Stahl sowie Aluminium

Aus den Abmessungen von 747 Fahrtreppen in klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren werden fiktive durchschnittliche Fahrtreppen für Einkaufszentren ermittelt. Dabei werden insgesamt 474 Fahrtreppen in der Mallfläche sowie insgesamt 283 Fahrtreppen innerhalb von Mietflächen sowohl gemeinsam als auch separat betrachtet. Fahrtreppen in Mietflächen sind durchschnittlich etwas schmaler und steiler gestaltet. Mögliche Gründe dafür sind Flächeneinsparungen sowie geringere Fahrgastzahlen im Vergleich zu Fahrtreppen in der Mall. Für den Bestand der Fahrtreppen wird der gewichtete Durchschnitt beider Fahrtreppeneinbauorte verwendet. Für die späteren Inputs, welche zugunsten der Flexibilisierung der Flächen auf Fahrtreppen in Mietflächen verzichten, wird die durchschnittliche Fahrtreppe in der Mallfläche verwendet. Für die Outputs aufgrund von Fahrtreppenabbau wird die durchschnittliche Fahrtreppe in Mietflächen angenommen.

Die ermittelten Abmessungen der durchschnittlichen Fahrtreppen sind in Tabelle 5-22 aufgelistet. Diese Werte sowie die nachfolgend berechneten Rohstoffgehalte gelten für alle Standorte der Einkaufszentren und werden ebenso für Fahrtreppen in Factory-Outlet-Centern sowie Hybrid-Centern angenommen.

Tabelle 5-22: Mittelwerte der Fahrtreppenabmessungen aus Geräteaufnahmen klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren

Variable	Bezeichnung	Mittelwert	Bemerkung
Durchschnittliche Fahrtreppe (62,6% in Mallfläche, 37,4% in Mietfläche)			
H	Förderhöhe	4,84 m	-
g	Stufenhöhe	21,72 cm	42,8% mit 20 cm, 57,2% mit 23 cm, kein Zusammenhang zwischen Stufenhöhe und Einbaujahr erkennbar
h	Stufentiefe	40 cm	einheitlich
w	Stufenbreite	95,88 cm	79,5% mit 100 cm, 0,3% mit 90 cm, 19,9% mit 80 cm, 0,3% mit 60 cm
α	Steigungswinkel	32,86°	siehe Bemerkung Stufenhöhe
l'	Hypotenuse des Förderbereichs	8,91 m	Hypotenuse des Dreiecks aus Förderhöhe, Stufen und Fahrtreppenlänge, d.h. „schräge Länge“, ermittelt aus $H / \sin \alpha$
Durchschnittliche Fahrtreppe in der Mallfläche			
H	Förderhöhe	4,90 m	-
g	Stufenhöhe	21,41 cm	53% mit 20 cm, 47% mit 23 cm, kein Zusammenhang zwischen Stufenhöhe und Einbaujahr erkennbar
h	Stufentiefe	40 cm	einheitlich
w	Stufenbreite	98,02 cm	90,5% mit 100 cm, 9,1% mit 80 cm, 0,4% mit 60 cm
α	Steigungswinkel	32,35°	siehe Bemerkung Stufenhöhe
l'	Hypotenuse des Förderbereichs	9,15 m	Hypotenuse des Dreiecks aus Förderhöhe, Stufen und Fahrtreppenlänge, d.h. „schräge Länge“, ermittelt aus $H / \sin \alpha$

Durchschnittliche Fahrtreppe in Mietflächen			
H	Förderhöhe	4,73 m	-
g	Stufenhöhe	22,23 cm	25,8% mit 20 cm, 74,2% mit 23 cm, kein Zusammenhang zwischen Stufenhöhe und Einbaujahr erkennbar
h	Stufentiefe	40 cm	einheitlich
w	Stufenbreite	92,30 cm	61,4% mit 100 cm, 0,7% mit 90 cm, 38,2% mit 80 cm
α	Steigungswinkel	33,71°	siehe Bemerkung Stufenhöhe
l'	Hypotenuse des Förderbereichs	8,53 m	Hypotenuse des Dreiecks aus Förderhöhe, Stufen und Fahrtreppenlänge, d.h. „schräge Länge“, ermittelt aus $H / \sin \alpha$

Es handelt sich dabei wie auch bei Warenhäusern um Fahrtreppen für Innenräume. Sie werden zwecks Nutzung einbaujahresabhängiger Rohstoffgehalte ebenfalls in Altersklassen unterteilt. Da keine Fahrtreppen der Altersklasse *bis 1980* in den Untersuchungen aufgefunden wurden, werden die beiden Altersklassen *1981 bis 1990* sowie *ab 1991* verwendet.

Die überschlägige Ermittlung der Rohstoffgehalte geschieht analog zum Vorgehen bei Warenhäusern (siehe Kapitel 5.2.6). Die sich ergebenden Rohstoffgehalte der einzelnen Komponenten und der gesamten durchschnittlichen Fahrtreppen jeder Altersklasse sind in Tabelle 5-23 angegeben.

Tabelle 5-23: Rohstoffgehalte der durchschnittlichen Fahrtreppen in Einkaufszentren

Komponente	Altersklasse			
	1981 bis 1990		ab 1991	
	Aluminiumgehalt in kg	Stahlgehalt in kg	Aluminiumgehalt in kg	Stahlgehalt in kg
Durchschnittliche Fahrtreppe (62,6% in Mallfläche, 37,4% in Mietfläche)				
Traggerüst	0	1.439,69	0	1.439,69
Stufen	362,32	606,01	724,64	0
Förderkette	0	335,18	0	335,18
Laufschienen	0	212,56	0	212,56
Antritts- und Kammplatten	9,27	81,09	18,53	54,06
Antriebs- und Umlenkräder	0	2.400,00	0	2.400,00
Summe	371,58	5.074,54	743,17	4.441,50
Durchschnittliche Fahrtreppe in der Mallfläche				
Traggerüst	0	1.466,04	0	1.466,04
Stufen	376,07	627,83	752,13	0
Förderkette	0	341,60	0	341,60
Laufschienen	0	217,18	0	217,18
Antritts- und Kammplatten	9,27	81,09	18,53	54,06
Antriebs- und Umlenkräder	0	2.400,00	0	2.400,00
Summe	385,33	5.133,74	770,67	4.478,88
Durchschnittliche Fahrtreppe in Mietflächen				
Traggerüst	0	1.397,29	0	1.397,29
Stufen	340,28	571,02	680,55	0
Förderkette	0	324,83	0	324,83
Laufschienen	0	205,14	0	205,14
Antritts- und Kammplatten	9,27	81,09	18,53	54,06
Antriebs- und Umlenkräder	0	2.400,00	0	2.400,00
Summe	349,54	4.979,37	699,08	4.381,33

5.3.7 Treiber auf der Rohstoffebene

Bei Einkaufszentren ist die angenommene Nutzungsdauer der Fahrtreppen von 30 Jahren geringer als bei Warenhäusern. Es wird daher davon ausgegangen, dass die Fahrtreppen der Einkaufszentren nicht nach 25 Jahren eine Grundinstandsetzung erhalten, sondern bereits nach einem Erwartungswert μ von 20 Jahren. Als Standardabweichung σ werden 2 Jahre angenommen. Die Anzahl der jährlich zu reparierenden Fahrtreppen ist in Anhang A4.2 beigefügt. Sie ist wie beim Teilmodell Warenhäuser vom

Szenario abhängig. Vor 1991 eingebaute Fahrtreppen werden nicht mehr repariert, sondern ausgetauscht. Daher wird für Reparaturen nur die Altersklasse *ab 1991* berücksichtigt. Die Berechnungen werden analog zu den Reparaturen von Fahrtreppen in Warenhäusern durchgeführt (Kapitel 5.2.7). Für Reparaturen sind somit je Fahrtreppe die Rohstoffgehalte in Tabelle 5-40 nötig.

Tabelle 5-24: Rohstoffbedarf durch Reparatur von Fahrtreppen in Einkaufszentren

Komponente	Aluminiumgehalt in kg	Stahlgehalt in kg
Durchschnittliche Fahrtreppe (62,6% in Mallfläche, 37,4% in Mietfläche)		
1% der Stufen	7,25	0,00
Förderkette	0,00	335,18
Laufschienen	0,00	212,56
Summe	7,25	547,75
Durchschnittliche Fahrtreppe in der Mallfläche		
1% der Stufen	7,52	0,00
Förderkette	0,00	341,60
Laufschienen	0,00	217,18
Summe	7,52	558,78
Durchschnittliche Fahrtreppe in Mietflächen		
1% der Stufen	6,81	0,00
Förderkette	0,00	324,83
Laufschienen	0,00	205,14
Summe	6,81	529,97

5.3.8 Berechnung der Materialflussteilmodelle

Die Berechnung des Teilmodells Einkaufszentren geschieht analog zu der bereits für Warenhäuser in Kapitel 5.2.7 erläuterten Berechnung. Nachfolgend werden daher nur einzelne Besonderheiten aufgrund der Szenarioannahmen für Einkaufszentren erläutert. Dies geschieht auf Grundlage des Szenarios *Übersversorgung*, da dieses das komplexeste der drei Szenarien ist. Die vollständigen Berechnungstabellen für alle drei Szenarien sind in Anhang A5.4 bis A5.6 sowie A6.2 zu finden. Die Ergebnisse der Modelle aller Szenarien werden im nächsten Kapitel diskutiert und gegenübergestellt.

Die Gebäudeebene wird wie in Tabelle 5-25 gezeigt berechnet. Sie gliedert sich in die Standorttypen „Grüne Wiese“, Stadtteil und Innenstadt, da jeder Standort einen eigenen Faktor *Gebäudetechnikgehalt* benötigt. Es wird aus den einzelnen Inputs durch Neubau, Umnutzung und Revitalisierung ein gesamter Input je Standort sowie über alle Standorte ermittelt.

Im Szenario *Übersversorgung* wurde angenommen, dass Mietflächen oberhalb der Sättigungsgrenze aus dem Szenario *Sättigung* nach einiger Zeit wieder abgebrochen werden. Daher wird im Falle des Überschreitens der Sättigungsgrenze für klassische und multifunktionale Einkaufszentren notiert, um welchen Betrag der Input die Grenze überschreitet. Dies ist unter den Inputs beispielhaft für das Jahr 2022 rot dargestellt. Diese Mietfläche wird jeweils 5 Jahre später geschlossen und weitere 3 Jahre später, d.h. in diesem Fall 2030 entweder abgebrochen oder umgenutzt.

Bei der Berechnung des Outputs muss auf die verschiedenen Arten der Umnutzung geachtet werden. Für die Ermittlung des Gebäudelagers und des Fahrtreppenlagers muss der gesamte Output ermittelt werden. Für die weitere Berechnung der Fahrtreppeninputs und -outputs ist jedoch nur der Teil des Gebäudeoutputs zu berücksichtigen, bei welchem die Fahrtreppen nicht in umgenutzten Immobilien bestehen blieben. Diese werden zwar vom Fahrtreppenlager des Untertyps klassische und multifunktionale Einkaufszentren in das Fahrtreppenlager der Factory-Outlet-Center verschoben, erzeugen aber keine Flüsse.

Die Berechnung der Betrachtungsebenen *Gebäudetechnik* und *Rohstoffe* geschieht wie bereits im Teilmodell Warenhäuser in Kapitel 5.2.7 erklärt.

Tabelle 5-25: Berechnung der Gebäudeebene für das Teilmodell Einkaufszentren, klassische und multifunktionale Einkaufszentren im Szenario *Übersorgung*

Input in m ² Mietfläche	2017	...	2022	...	2030	...	2035	2036	...	2040
Neubau und Umnutzung	30.000		237.070		4.650		4.650	4.650		4.650
davon Stadtteillage	0		0		0		0	0		0
davon Innenstadt	30.000		230.870		0		0	0		0
davon Factory-Outlet-Center (Innenstadt)	0		6.200		4.650		4.650	4.650		4.650
Revitalisierung (Innenstadt)	24.100		24.100		2.325		2.325	2.325		23.925
Input gesamt	54.100		261.170		6.975		6.975	6.975		28.575
Zubau über Sättigungsgrenze			49.970							

Output in m ² Mietfläche	2017	...	2022	...	2030	...	2035	2036	...	2040
Abbrüche (nur Innenstadt)										
davon mit anderer Nachnutzung	6.425		6.425		47.645		1.775	1.775		1.775
davon Revitalisierung (Nachnutzung EKZ oder FOC)	19.275		19.275		2.325		2.325	21.600		21.600
Output gesamt (nur Innenstadt)	25.700		25.700		49.970		4.100	23.375		23.375

Lager in m ² Mietfläche	2017	...	2022	...	2030	...	2035	2036	...	2040
Grüne Wiese	1.086.150		1.086.150		1.086.150		1.086.150	1.086.150		1.086.150
Stadtteillage	3.815.650		4.039.950		4.039.950		4.039.950	4.039.950		4.039.950
Innenstadt	4.847.160		5.772.470		6.724.730		5.799.875	5.783.475		5.782.675
Lager gesamt	9.748.960		10.879.970		11.768.680		10.820.575	10.799.525		10.780.125

5.3.9 Ergebnisse der Materialflussteilmodelle

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Modelle aller drei Szenarien für Einkaufszentren dargestellt, diskutiert und einander gegenübergestellt.

Die Entwicklung der Gebäudeebene der betrachteten Einkaufszentren werden für alle drei Szenarien in Abbildung 5-43 bis Abbildung 5-45 gezeigt. Inputs bis 2019 bzw. 2020 entsprechen den derzeit in Bau bzw. in Planung befindlichen Einkaufszentren.

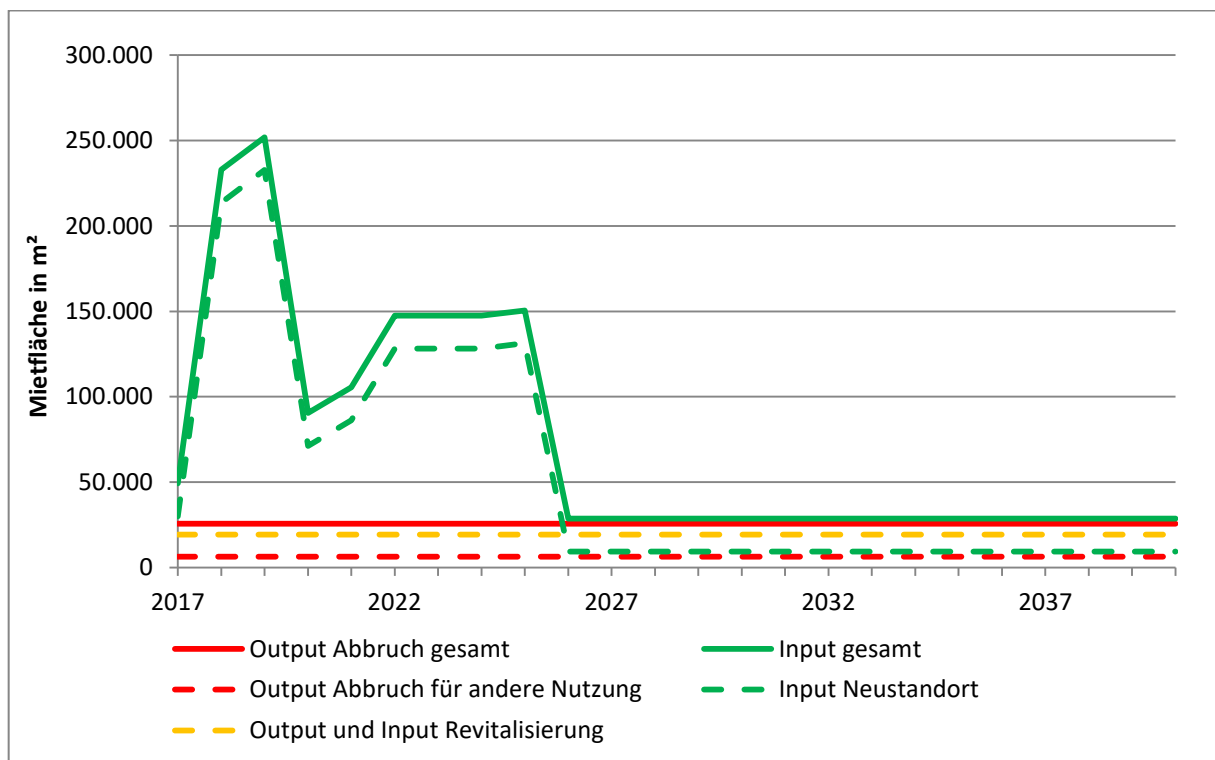


Abbildung 5-43: Mietflächeninputs und -outputs im Szenario *Sättigung* für Einkaufszentren.

Im Szenario *Sättigung* folgt den geplanten bzw. in Bau befindlichen Projekten Neubau in gemäßigttem Umfang bis etwa 2025. Danach wird davon ausgegangen, dass weitere Mietflächen den tatsächlichen Bedarf der Kunden übersteigen und die Immobilienbranche entsprechend reagiert. Es wird mit keinen Neustandorten mehr gerechnet; Sättigung tritt ein. Durch Revitalisierungen entstehende Inputs und Outputs werden durchgehend als Durchschnittswert angenommen. Weiterhin wird analog zu den Vorjahren von einem geringen Output infolge von Abbruch bzw. Umnutzung ausgegangen. Dieser wird jedoch ausgeglichen durch den Zubau von Factory-Outlet-Centern, sodass das Gebäudelager annähernd konstant bleibt wie in Abbildung 5-46 dargestellt.

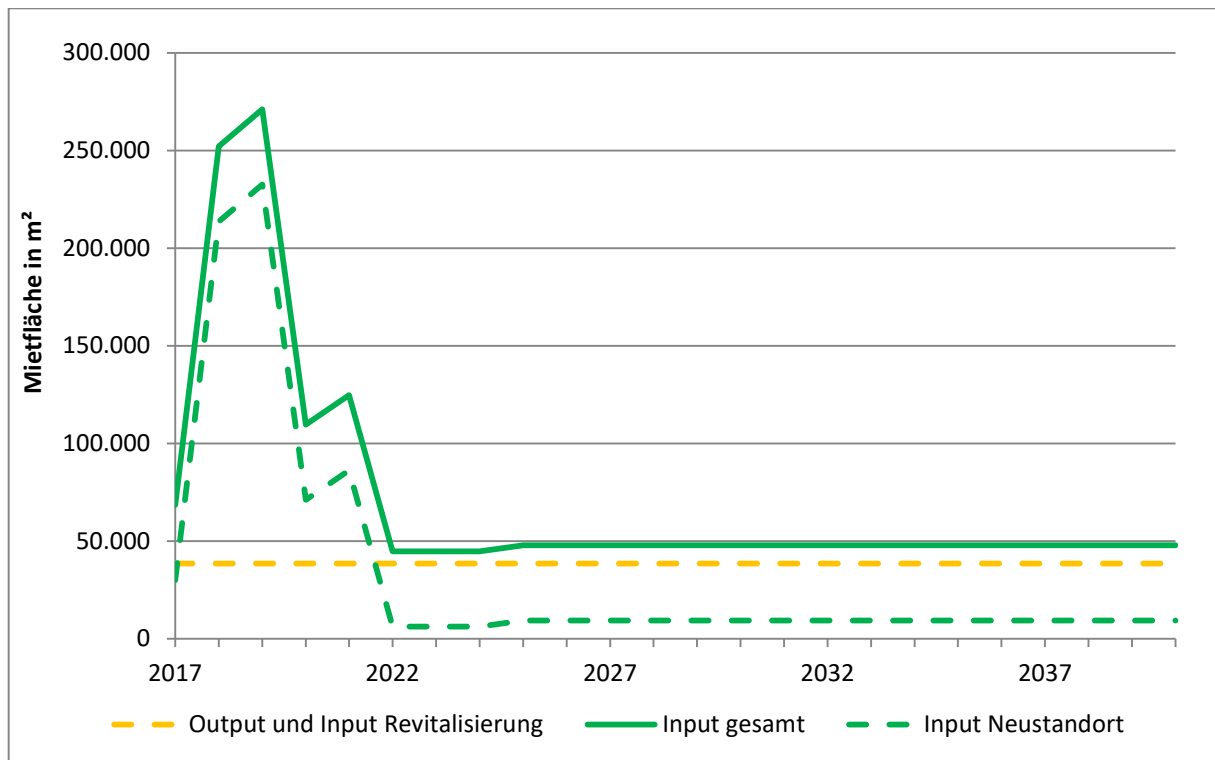


Abbildung 5-44: Mietflächeninputs und -outputs im Szenario *Innenstadtstärkung* für Einkaufszentren.

Im Szenario *Innenstadtstärkung* entstehen nach 2020 für klassische und multifunktionale Einkaufszentren keine Inputs durch Neustandorte. Das Szenario lässt sich kombinieren mit dem Szenario *Innenstadtstärkung* aus dem Teilmodell Warenhäuser, da der gesamte stationäre Einzelhandel der Innenstädte gestärkt werden soll. Ein verstärkter Zubau der Mietfläche von Einkaufszentren ist in diesem Fall kontraproduktiv, da er die Konkurrenzsituation verschärft. Stattdessen tritt ein etwas höherer Input und Output aufgrund von Revitalisierungen auf, da Einkaufszentren in Innenstadtlage revitalisiert werden, um ihr Erscheinungsbild und ihre nähere Umgebung aufzuwerten und Kunden anzuziehen. Hinzugebaut werden allerdings im kleinen Umfang Factory-Outlet-Center. Da diese eine andere Funktion besitzen als klassische und multifunktionale Einkaufszentren, wird angenommen, dass sie keine direkte Konkurrenz für den bestehenden Einzelhandel darstellen. Die Mietfläche dieses Szenarios bleibt daher nach Abschluss der Neubauprojekte im Jahr 2022 ebenfalls nahezu konstant, wie in Abbildung 5-46 gezeigt.

Sowohl das Szenario *Sättigung* als auch das Szenario *Innenstadtstärkung* gehen davon aus, dass der Neubau kurzfristig stark zurückgeht. Daher übersteigt bei beiden Szenarien die Mietfläche nicht die Sättigungsgrenze und es ist analog zu den vergangenen Jahren nicht zu erwarten, dass nennenswerte Anteile der Mietflächen abgebrochen werden.

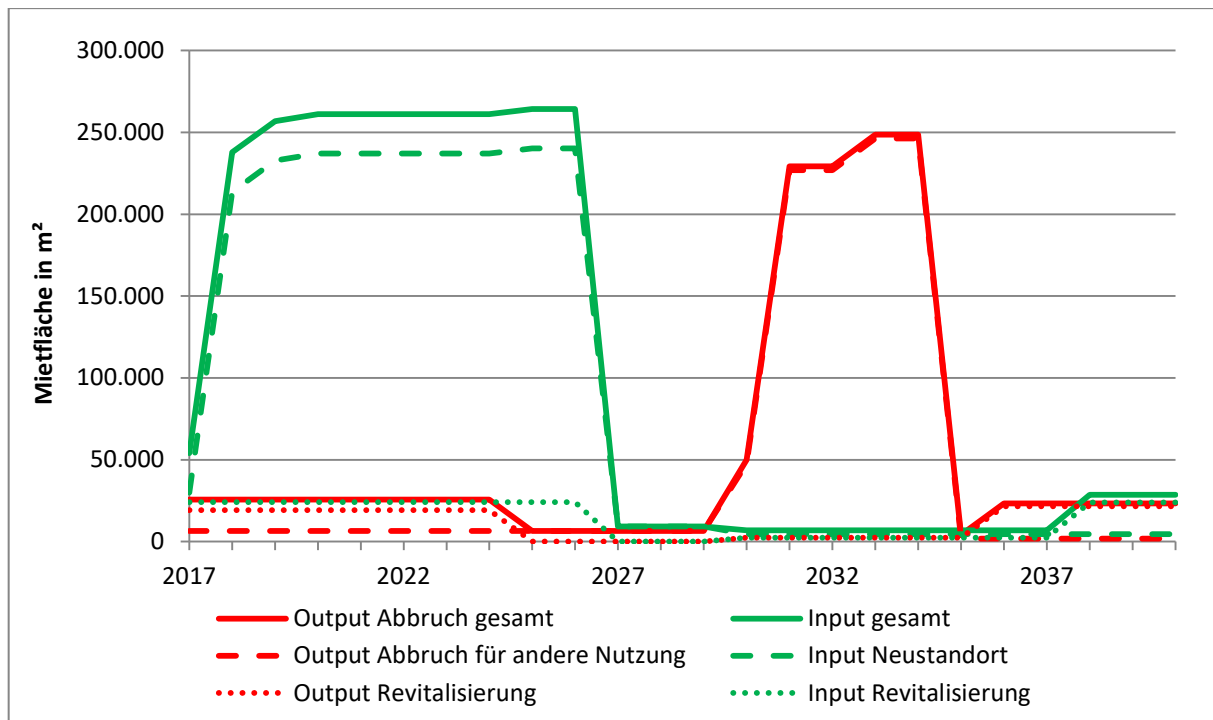


Abbildung 5-45: Mietflächeninputs und -outputs im Szenario *Übersorgung* für Einkaufszentren.

Im Szenario *Übersorgung* wird von Neubau entsprechend der vergangenen Dekade ausgegangen, sodass ein deutlich größerer Input zu verzeichnen ist. Infolgedessen wird die Sättigungsgrenze der wirtschaftlich nachhaltig betreibbaren Einkaufszentren überschritten und ab dem Jahr 2024 geht das Interesse an klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren als Anlage deutlich zurück (Kapitel 5.3.3.1). Der Rückgang des Inputs erfolgt zeitversetzt, da im Bau befindliche Projekte abgeschlossen werden. Die Outputs hingegen gehen etwas früher zurück, da keine Investitionen in Revitalisierungen mehr getätigt werden. Das Überangebot an Mietfläche löst sich schließlich durch Schließung bzw. Verkleinerung einzelner Einkaufszentren. Entsprechend findet ab ca. 2030 ein deutlicher Output statt, bis die Mietfläche wieder dem tatsächlichen Bedarf entspricht. Erst danach setzen wieder Outputs und Inputs infolge von Revitalisierungsmaßnahmen ein. Für die Entwicklung der Mietfläche bedeutet dies zunächst einen Anstieg bis ca. 2026, dann eine Sättigung bis zum Beginn des Abbruchs um etwa 2030 und schließlich eine Stabilisierung der Mietfläche ab 2035, wie in Abbildung 5-46 gezeigt.

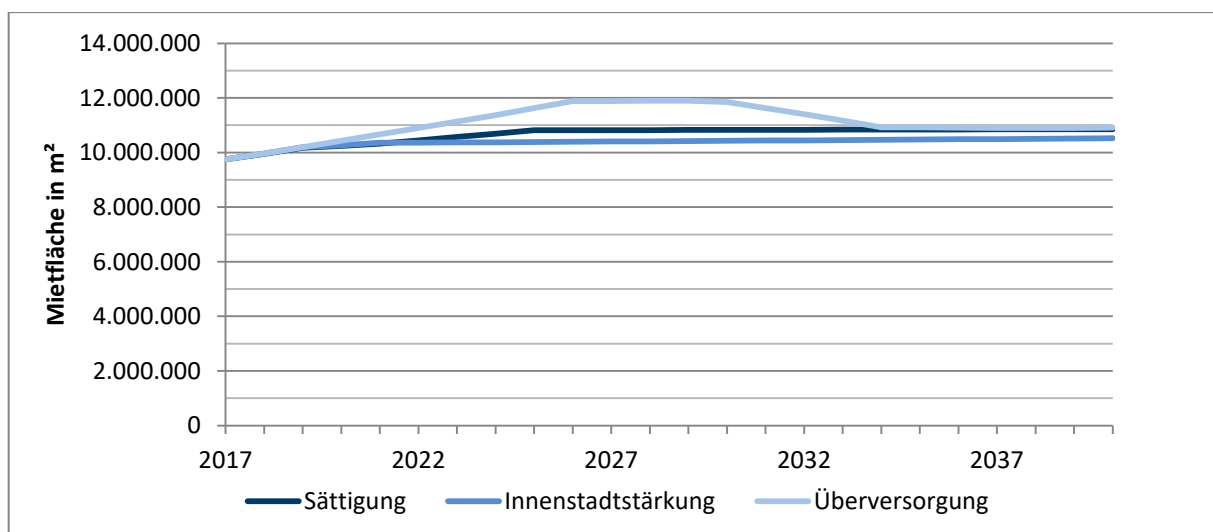


Abbildung 5-46: Entwicklung der Mietfläche der drei Szenarien für Einkaufszentren.

In den Fahrtreppeninputs und -outputs in Abbildung 5-47 bis Abbildung 5-49 findet sich zunächst die Entwicklung der Gebäudeebene des jeweiligen Szenarios wieder, dargestellt als grün bzw. rot gestrichelte Linien. Ein weiterer maßgeblicher Teil entsteht durch Fahrtreppenaustausch am Ende der Nutzungsdauer, dargestellt als gelb gestrichelte Linien. Da bei den Baujahren der Einkaufszentren Häufungen bestehen, ist auch eine Häufung der auszutauschenden Fahrtreppen zu erkennen.

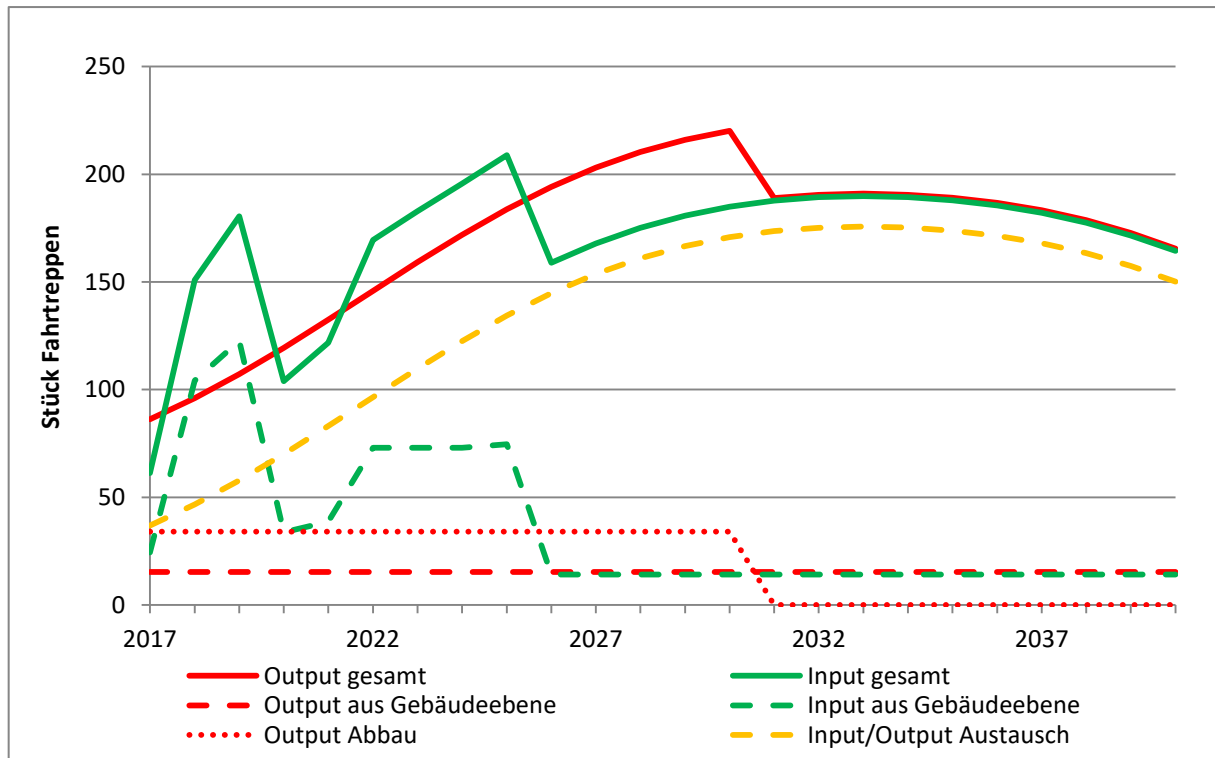


Abbildung 5-47: Fahrtreppeninputs und -outputs im Szenario *Sättigung* für Einkaufszentren.

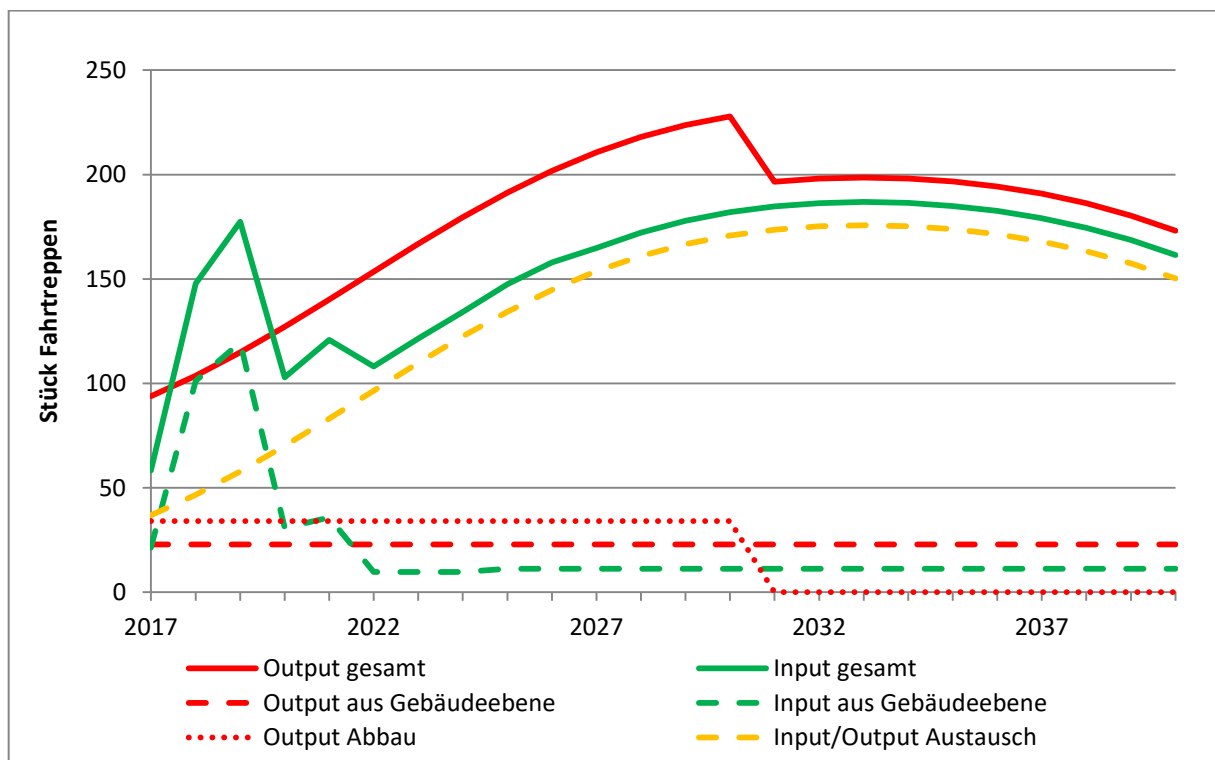


Abbildung 5-48: Fahrtreppeninputs und -outputs im Szenario *Innenstadtstärkung* für Einkaufszentren.

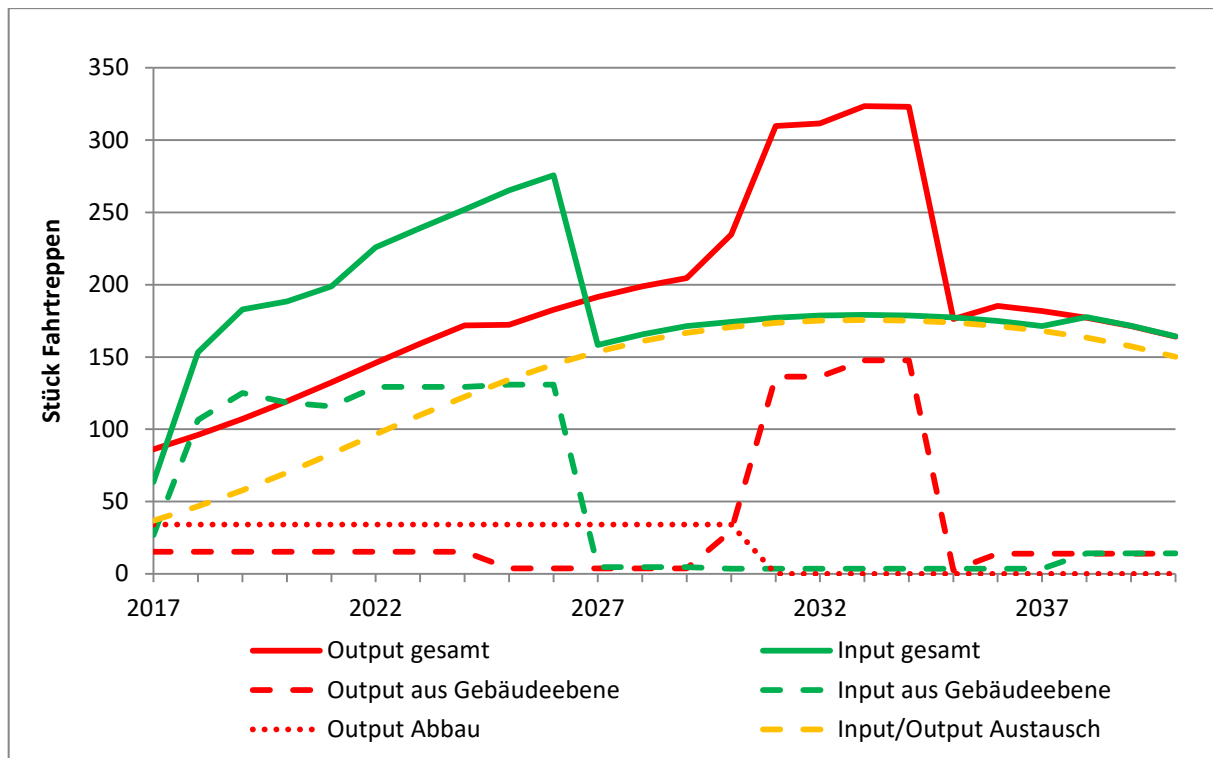


Abbildung 5-49: Fahrtreppeninputs und -outputs im Szenario *Übersorgung* für Einkaufszentren.

Im Szenario *Übersorgung* entsteht kurzzeitig bedingt durch den extremen Abbruch auch ein sehr hoher Fahrtreppenoutput. Fahrtreppenabbau vergrößert den Output bis 2030 in allen Szenarien.

Die in Abbildung 5-50 dargestellte Entwicklung der Fahrtreppenlager der drei Szenarien geschieht ungefähr proportional zur Entwicklung der Mietflächen, da der In- und Output durch Austausch sich nicht auf das Lager auswirkt. Geringfügig verringert wird das Lager jedoch durch den Output infolge des Fahrtreppenabbaus, da dieser den Gebäudetechnikgehalt senkt. Im Szenario *Innenstadtstärkung* geschieht ebenfalls eine geringfügige Reduzierung, da in diesem Fall für die Neubauten ein verringerter Gebäudetechnikgehalt angenommen wurde, um die sich derzeit neu etablierende Bauform des Einkaufszentrums in einem Quartier mit tendenziell weniger Verkaufsebenen zu repräsentieren.

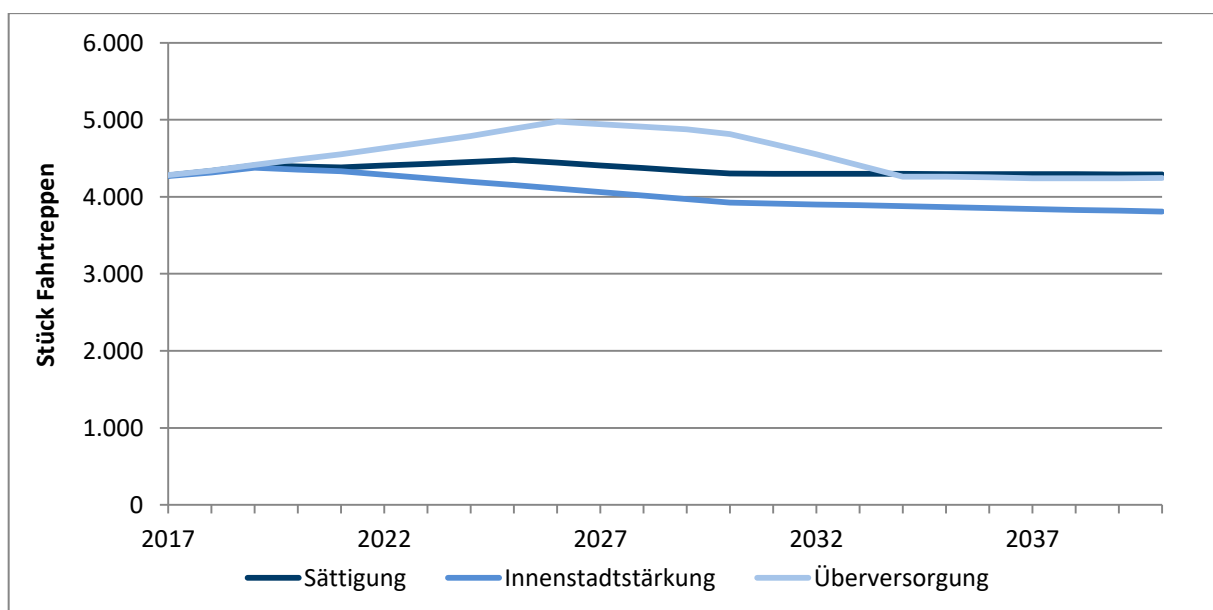


Abbildung 5-50: Entwicklung des Fahrtreppenlagers der drei Szenarien für Einkaufszentren.

Die Entwicklung der Inputs und Outputs von Stahl in Abbildung 5-51 entspricht qualitativ der Entwicklung der Fahrtreppeninputs und -outputs. Der Einfluss unterschiedlicher Rohstoffgehalte verschiedener Einbaujahre ist in diesem Fall weniger deutlich als bei Fahrtreppen in Warenhäusern, da der Großteil der Fahrtreppen in Einkaufszentren aus der jüngsten Altersklasse *ab 1991* stammt. Daher unterscheidet sich diese Entwicklung hauptsächlich hinsichtlich ihrer Skalierung von der Entwicklung der Inputs und Outputs von Aluminium, wie sie in Abbildung 5-53 gezeigt wird. Da nur noch geringe Mengen älterer Fahrtreppen mit geringerem Aluminiumgehalt ausgetauscht bzw. ausgebaut werden entsteht kein Aluminiumzuwachs aufgrund unterschiedlicher Rohstoffgehalte mehr.

Sowohl das Lager von Stahl als auch von Aluminium entwickelt sich qualitativ ebenfalls annähernd gleich wie das Fahrtreppenlager des jeweiligen Szenarios, wie in Abbildung 5-52 und Abbildung 5-54 ersichtlich.

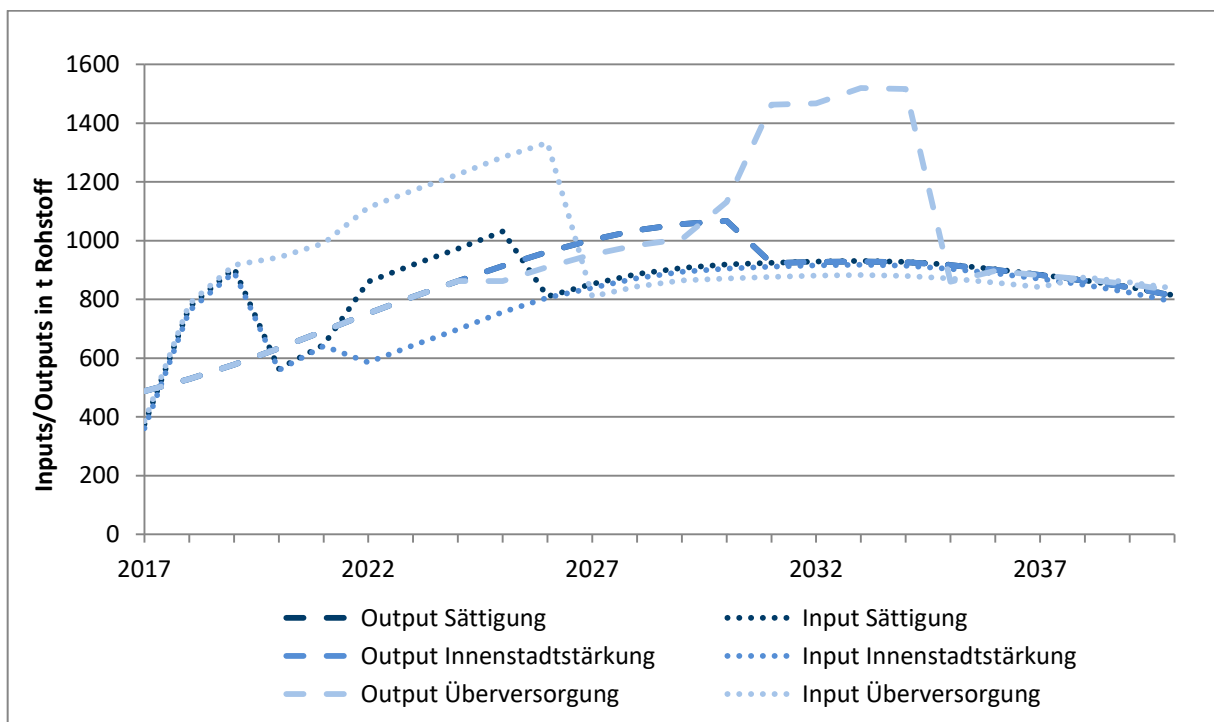


Abbildung 5-51: Stahlinputs und -outputs aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Einkaufszentren.

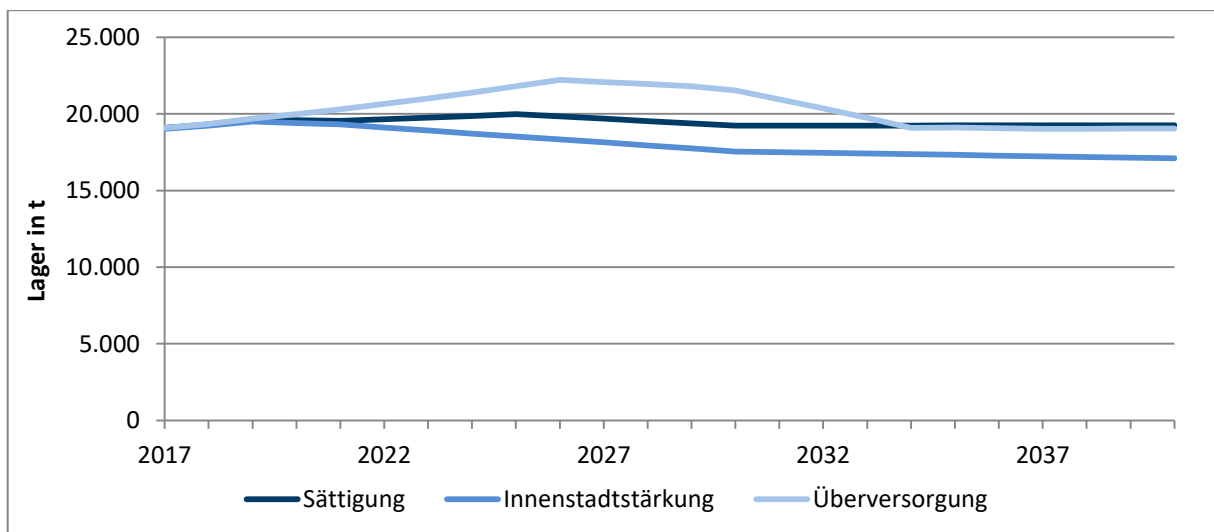


Abbildung 5-52: Entwicklung des Rohstofflagers Stahl aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Einkaufszentren.

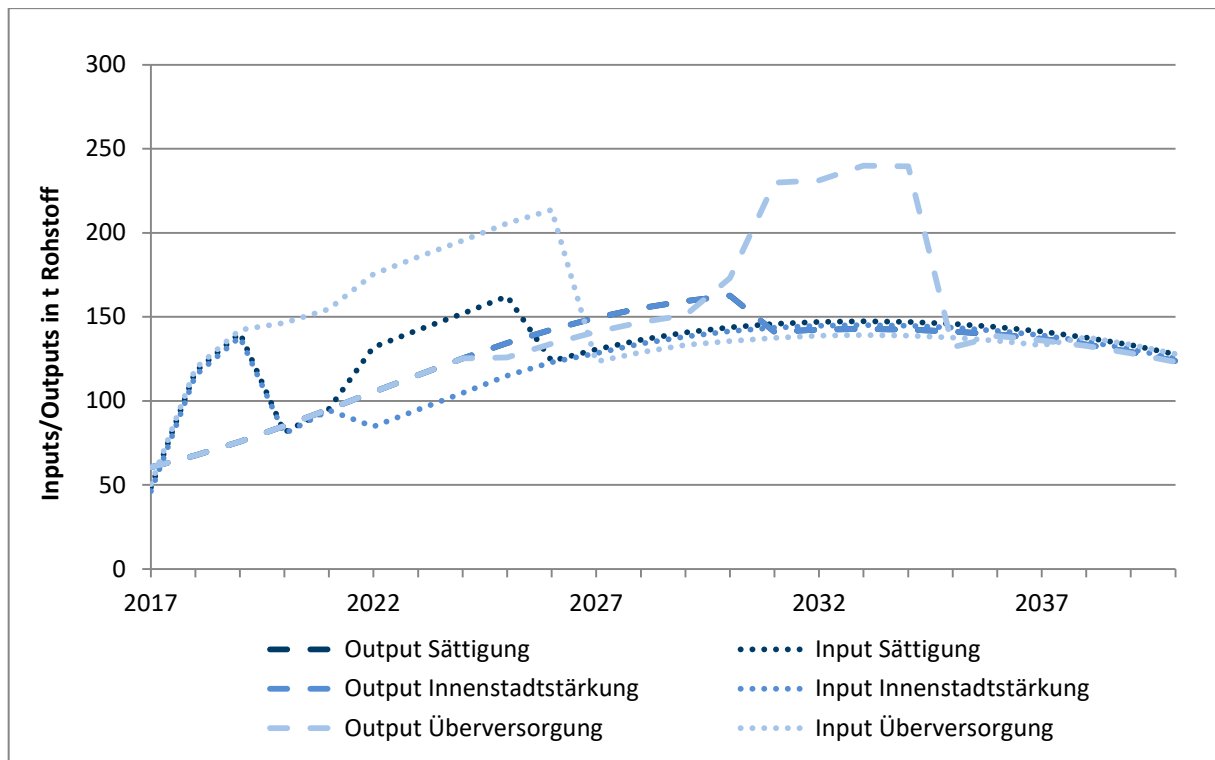


Abbildung 5-53: Aluminiuminputs und -outputs aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Einkaufszentren.

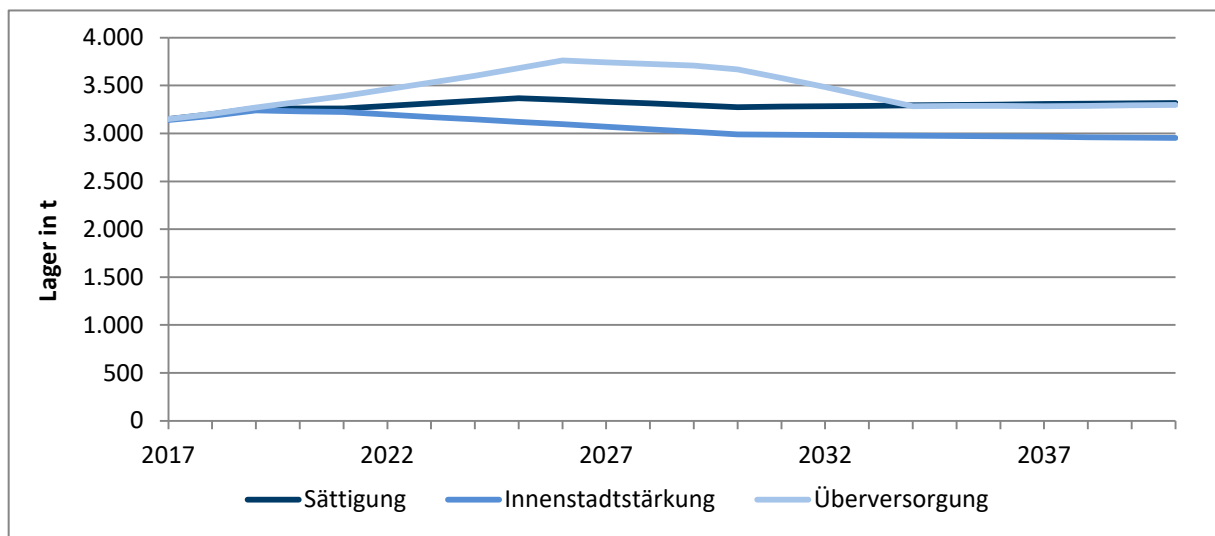


Abbildung 5-54: Entwicklung des Rohstofflagers Aluminium aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Einkaufszentren.

Bei Kupfer entspricht die Entwicklung sowohl der Inputs und Outputs als auch des Lagers wiederum der jeweiligen Entwicklung auf der Gebäudetechnikenebene, da von einem einheitlichen Gebäudetechnikgehalt ausgegangen wird. Dies ist in Abbildung 5-55 und Abbildung 5-56 dargestellt.

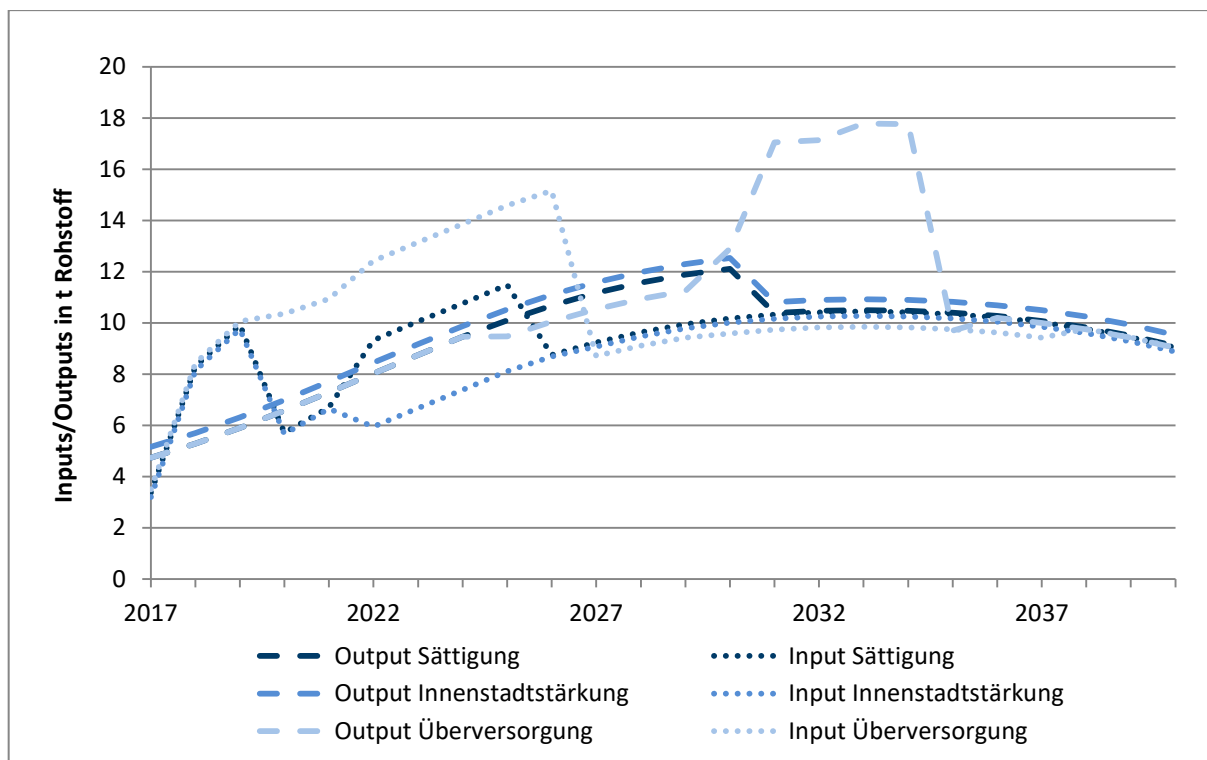


Abbildung 5-55 Kupferinputs und -outputs aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Einkaufszentren.

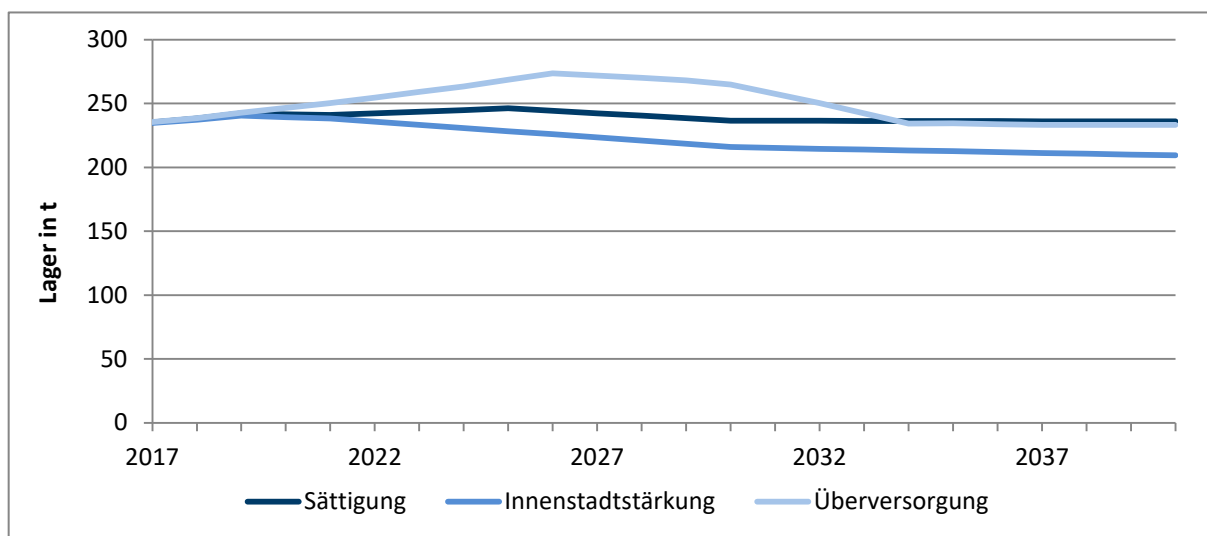


Abbildung 5-56: Entwicklung des Rohstofflagers Kupfer aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Einkaufszentren.

5.4 Teilmodell Bahnstationen

Als Bahnstationen werden Bahnhöfe und Haltepunkte einer Bahn bezeichnet.²⁴ Im Rahmen dieser Arbeit werden nur Bahnstationen des Personenverkehrs betrachtet, da im Regelfall auf Güterstationen und Rangierbahnhöfen keine Fahrtreppen zu erwarten sind.

Die Deutsche Bahn AG betreibt in Deutschland 6.598 Bahnstationen des Fern- und Regionalverkehrs sowie des regionalen S-Bahnverkehrs (DB Station&Service AG 2017). Zudem werden in 18 Städten U-Bahnen und/oder Stadtbahnen mit Bahnstationen betrieben, in welchen Fahrtreppen verbaut sein können (Schwandl 2010).

In diesem Teilmodell wird eine etwas andere Vorgehensweise verwendet. Da bei Bahnstationen die Anzahl der Betreiber auf eine sehr übersichtliche Menge beschränkt ist, kann ein Top-down-Ansatz genutzt werden, d.h. Daten können aus Befragungen der Betreiber und weiteren Quellen ermittelt werden. Die Anzahl der Fahrtreppen ist somit direkt verfügbar und es wird keine Gebäudeebene benötigt. Dadurch kann auf die zeitaufwendigere Ermittlung des Gebäudetechnikgehalts verzichtet werden. Zudem ist davon auszugehen, dass die Top-down-Werte repräsentativer sind, da Ungenauigkeiten durch die Hochrechnung entfallen. Bottom-up-Untersuchungen wurden jedoch getätigt, um die durchschnittliche Fahrtreppe dimensionieren zu können.

Zunächst werden Eingangsdaten der einzelnen Betreiber ermittelt. Anschließend werden diese zu einem gemeinsamen Teilmodell zusammengeführt. Eigenschaften der Fahrtreppen wie Nutzungsdauer und Abmessungen werden betreiberübergreifend aus allen verfügbaren Quellen gemittelt.

5.4.1 Gebäudetechnikenebene: Eingangsdaten der einzelnen Betreiber

Die Eingangsdaten der einzelnen Betreiber bzw. der Kooperation sind in Anhang A2.3 aufgelistet. Nachfolgend werden die dafür genutzten Quellen und Annahmen erläutert.

5.4.1.1 DB Station&Service AG

Die DB Station&Service AG als Tochterfirma der Deutschen Bahn AG (im Folgenden: DB) ist Betreiber der Bahnstationen des DB Streckennetzes aus Fern- und Regionalverkehr sowie S-Bahn. Informationen zu Bahnstationen werden im Open-Data-Portal der DB zur Verfügung gestellt. Bezüglich der Fahrtreppen wird derzeit jedoch nur in der API FaSta eine Abfrage des Betriebszustandes ermöglicht. Informationen zu Abmessungen, Herstellern oder Einbaujahren sind darüber nicht verfügbar. Die Abfrage erfolgt in Echtzeit über einen Kommunikationsbaustein im Gerät. Im Dezember 2016 war nur ein Teil der vorhandenen Fahrtreppen mit diesem Baustein ausgerüstet. Im September 2017 wurde eine erneute Abfrage an die API ausgeführt und ergab insgesamt 997 Fahrtreppen (DB Station&Service AG 2017). Dies entspricht relativ genau einer Quelle, welche vermutlich gerundete „1.000 Fahrtreppen“ angibt (Deutsche Bahn AG 2016). Es wird daher davon ausgegangen, dass die Ausstattung abgeschlossen ist und die 997 Fahrtreppen als repräsentativer Wert für das Basisjahr 2016 verwendet werden können.

5.4.1.2 Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)

Betreiber des Berliner U-Bahnsystems sind die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG). Auf eine Anfrage des Abgeordnetenhauses im Dezember 2016 gab die BVG an, 364 Fahrtreppen auf 94 U-Bahnstationen zu betreiben (Abgeordnetenhaus Berlin 2016).

In einer früheren Anfrage des Abgeordnetenhauses vom März 2014 gab die BVG noch an, 367 Fahrtreppen zu betreiben, im Jahr 2007 waren hingegen noch 373 und 2002 noch 376 Fahrtreppen vorhanden (Laninger 2007; Tagesspiegel 2004; Laninger 2007; Abgeordnetenhaus Berlin 2014b, 2016,

²⁴ Bahnhöfe verfügen nach Definition der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung über mindestens eine Weiche, um das Rangieren von Zügen zu ermöglichen. Haltepunkte hingegen ermöglichen nur ein Anhalten des Zuges ohne Rangiermöglichkeit (EBO 2016).

2014a). Damit sank die Zahl der Fahrtreppen in den vergangenen 14 Jahren geringfügig um 12 Stück bzw. 3% des Ausgangswertes von 2002. Der vollständige Ersatz von Fahrtreppen durch Aufzüge und normale Treppen wurde seitens der BVG dementiert bzw. als Ausnahmefall bezeichnet, obwohl dem Einbau von Aufzügen eine höhere Priorität zugesprochen wird (Tagesspiegel 2007; Berliner Woche 2013). Die in den letzten Jahren neu errichteten Bahnstationen verfügen dennoch nicht mehr über Fahrtreppen (Laninger 2007). Es wird daher davon ausgegangen, dass bei Bahnstationen ab dem Jahr 2000 keine Fahrtreppen mehr eingebaut wurden. Ebenfalls wird angenommen, dass zukünftig ein Abbau der vorhandenen Fahrtreppen entsprechend dem Mittelwert zwischen 2002 und 2014 stattfindet, d.h. um gerundet eine Fahrtreppe pro Jahr.

Hinsichtlich der Einbaujahre der bestehenden Fahrtreppen können nur sehr grobe Abschätzungen getroffen werden, da die BVG „aus Sicherheitsgründen“ keine Informationen herausgeben will (BVG Kundenservice 2017). U-Bahn-Betriebsleiter Kurt Beier spricht von einer Überversorgung mit Rolltreppen beim Bau von Berliner U-Bahnstationen bis in die 90er Jahre hinein, aus der ein Großteil der vorhandenen Fahrtreppen stammt (Tagesspiegel 2004). Es werden daher folgende Annahmen getroffen:

- Die ältesten noch betriebenen Fahrtreppen stammen aus dem Jahr 1980.
- 80% der vorhandenen Fahrtreppen wurden in den Jahren 1980 bis 1995 eingebaut, dabei wird eine gleichmäßige Verteilung angenommen.
- Die verbleibenden 20% wurden zwischen 1996 und 2000 eingebaut, dabei wird ebenfalls eine gleichmäßige Verteilung angenommen.

5.4.1.3 üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe AG

Im U-Bahnnetz in Hannover befanden sich im Januar 2017 114 Fahrtreppen, was als repräsentativ für das Basisjahr 2016 angenommen wird (Wendel 2017). Im Rahmen eines Konjunkturprogramms wurden zwischen 2010 und 2013 bereits mehrere Fahrtreppen ausgetauscht; ab 2021 ist mit weiterem Austausch zu rechnen (Hannoversche Allgemeine 2011). Die üstra kalkuliert einen Austausch von etwa acht Fahrtreppen pro Jahr ein (Wendel 2017). Diese werden sowohl für das abgeschlossene Konjunkturprogramm als auch für den Austausch ab 2021 angenommen. Im Jahr 2031 verbleiben nur noch zwei auszutauschende Fahrtreppen.

Um die Annahmen zum Fahrtreppenaustausch mit denen der anderen Stadtbahnen zusammenführen zu können, wird ein fiktives Baujahr ermittelt, welches jeweils 30 Jahre vor dem Austauschjahr liegt, d.h. zwischen 1991 und 2001. Dies erscheint gegenüber den Baujahren der Fahrtreppen der BVG in Berlin als realistisch, da auch dort während der 1990er Jahre vermehrt Fahrtreppen verbaut wurden. 30 Jahre ist die angenommene Nutzungsdauer für Fahrtreppen in Bahnstationen (Kapitel 5.4.2.2).

Für Zu- und Abbau von Fahrtreppen konnten in Bezug auf die üstra keine Anhaltspunkte gefunden werden. Daher werden sie nicht angenommen.

5.4.1.4 Hamburger Hochbahn

In Stationen der Hamburger Hochbahn befanden sich im Jahr 2015 209 Fahrtreppen (Gängrich 2015). Dies wird auch für das Basisjahr 2016 angenommen. Davon werden jährlich „rund sechs Fahrtreppen“ ausgetauscht (Berlin 2017). Bei diesem Mittelwert würde die Nutzungsdauer der Fahrtreppen knapp 35 Jahre betragen. Daher wird angenommen, dass langfristig eher sieben Fahrtreppen pro Jahr ausgetauscht werden, was eine mittlere Nutzungsdauer von knapp 30 Jahren bedeuten würde, wie dies auch an anderer Stelle für die Hochbahn angegeben wurde (Gängrich 2015). In Ermangelung weiterer Informationen wird weiterhin angenommen, dass die Einbaujahre der Fahrtreppen jeweils 30 Jahre vor dem Austauschjahr liegen, sodass sich zwischen 1987 und 2016 jeweils sieben eingebaute Fahrtreppen pro Jahr ergeben.

Für Zu- und Abbau von Fahrtreppen konnten keine konkreten Werte ermittelt werden. Daher werden Annahmen aufgrund von zwei prinzipiellen Entwicklungen getroffen: Zum einen besteht durch gestiegene Fahrgastzahlen eine Überlastung des Hauptbahnhofes, zum anderen sind bis über das Jahr

2020 hinaus Baumaßnahmen zur Gewährleistung von Barrierefreiheit geplant (NahverkehrHAMBURG 2016; hamburg.de 2017). Die gestiegene Menge an Fahrgästen muss zügig und zielgerichtet durch das Bahnhofsgebäude geleitet werden, wofür im Rahmen des Bahnhofausbaus möglicherweise weitere Fahrtreppen notwendig werden. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass auch an anderen stark frequentierten Bahnstationen in Hamburg die Fahrgastzahl steigt und somit möglicherweise auch dort weitere Fahrtreppen notwendig werden. Andererseits kann gerade bei kleinen Bahnstationen mit eingeschränktem Platz der Einbau eines Aufzugs zugunsten der Barrierefreiheit dazu führen, dass dafür Fahrtreppen reduziert werden. Es wird daher sowohl ein Zubau von jährlich einer Fahrtreppe bis 2030 sowie der Abbau von jährlich einer Fahrtreppe bis 2025 angenommen. Danach wird davon ausgegangen, dass die Bahnstationen wieder über genügend Fahrtreppen verfügen und dass die Umbaumaßnahmen zugunsten der Barrierefreiheit abgeschlossen sind.

5.4.1.5 Münchner Verkehrsgesellschaft (MVG)

Im Januar 2017 befanden sich im U-Bahn-Netz der Münchner Verkehrsgesellschaft (MVG) 771 Fahrtreppen (Münchner Verkehrsgesellschaft mbH 2017). Dies wird als Wert für das Basisjahr 2016 angenommen.

Zwischen etwa 2006 und 2015 wurden bereits 250 Fahrtreppen der MVG ausgetauscht (muenchen.de 2015). Für diese Einbaujahre wird jeweils der Mittelwert von 25 Fahrtreppen angenommen. Zwischen 2016 und 2019 sollen weitere 125 Fahrtreppen ausgetauscht werden, d.h. durchschnittlich 31,25 Fahrtreppen pro Jahr (Münchner Verkehrsgesellschaft mbH 2017). Es wird angenommen, dass dies 30 Jahre nach ihrem Einbau geschieht, d.h. es werden für die Jahre 1987, 1988, 1989 sowie 2016 jeweils 31,25 Fahrtreppen angenommen. Alle verbliebenen Fahrtreppen werden gleichmäßig auf die Baujahre 1990 bis 2005 aufgeteilt. Dies entspricht jeweils 24,75 Fahrtreppen.

In einer Quelle von 2011 wurde eine Anzahl von 774 Fahrtreppen genannt, d.h. seitdem wurden drei Fahrtreppen entfernt (tz 2011). Dies scheint unabhängig von einem Umbau für barrierefreie Stationen geschehen zu sein, denn dieser sollte im gesamten Netz bereits 2008 abgeschlossen sein (Münchner Verkehrsgesellschaft mbH 2007). Es wird angenommen, dass sich dieser Trend dennoch fortsetzt, möglicherweise weil nicht alle veralteten Fahrtreppen nach dem Ausbau durch neue ersetzt werden. Es wird daher der Mittelwert von 0,5 Fahrtreppen pro Jahr als Abbau angenommen.

5.4.1.6 Stadtwerke Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main mbH (VGF)

Für die Fahrtreppen der VGF in Frankfurt am Main konnte eine detaillierte Auflistung der 270 Fahrtreppen und ihrer Baujahre verwendet werden (Schauer 2017). Die 2017 aufgrund von Austausch eingebauten Fahrtreppen wurden um eine Generation von Fahrtreppen zurückgerechnet auf 1987, um das Basisjahr 2016 beibehalten zu können (Kapitel 5.4.2.2). Zu- oder Abbau von Fahrtreppen ist seitens der VGF derzeit nicht geplant (Schauer 2017).

5.4.1.7 VAG Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg

Die VAG Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg betreibt im Jahr 2017 190 Fahrtreppen, von denen die Einbaujahre erfragt werden konnten (Doreth 2017). Die 2017 eingebauten Fahrtreppen werden wie bei der VGF um die durchschnittliche Nutzungsdauer von 30 Jahren zurückdatiert auf 1987, um für das Basisjahr 2016 geeignete Eingangsdaten zu erhalten. Pläne für Zu- bzw. Abbau von Fahrtreppen bestehen bei der VAG nicht und werden daher nicht angenommen.

5.4.1.8 spurwerk.nrw

Bei spurwerk.nrw handelt es sich um eine Kooperation der Stadtbahnbetriebe Nordrhein-Westfalens. Da unter anderem Fahrtreppen gemeinschaftlich im Rahmen des spurwerk.nrw bestellt werden, ist es sinnvoll, diese zusammengefasst zu betrachten (spurwerk.nrw 2012). Mitglieder sind der Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR), ein ÖPNV-Verbund verschiedener Betreiber in unter anderem Bochum, Dortmund, Duisburg, Düsseldorf, Essen, Gelsenkirchen und Mülheim, der Verkehrsverbund Rhein-Sieg, welcher unter anderem die Städte Köln und Bonn umfasst, sowie die moBiel Bielefeld. Die Betreiber sowie die Anzahl ihrer Fahrtreppen sind in Tabelle 5-26 aufgelistet.

Tabelle 5-26: Betreiber im spurwerk.nrw sowie Anzahl ihrer Fahrtreppen

Betreiber	Stadt	Anzahl	Jahr	Quelle
Bogestra	Bochum, Gelsenkirchen	163	2011	(RuhrNachrichten 2011)
DSW21 AG	Dortmund	189	2017	(RuhrNachrichten 2017)
DVG	Duisburg	76	2017	(Duisburger Verkehrsgesellschaft AG 2017)
EVAG	Essen	147	2015	(WAZ 2015)
KVB AG	Köln	264	2017	(Kölner Stadt-Anzeiger 2017)
moBiel	Bielefeld	27	2004	(Henning 2004)
MVG	Mülheim	45	2016	(Der Westen 2016b)
Rheinbahn AG	Düsseldorf	79 + 59	2013/2016	(RP online 2013; lokalkompass.de 2016)
SWB Bus und Bahn	Bonn	76	2013	(Busse & Bahnen NRW 2013)

Aktuellere Daten konnten nicht ermittelt werden. Da bei den anderen untersuchten Betreibern in der Regel nach diesem Zeitraum kein Zubau an Fahrtreppen festgestellt wurde, wird davon ausgegangen, dass dies auch bei den Betreibern in Nordrhein-Westfalen der Fall ist. Somit werden die jeweiligen Angaben für das Basisjahr 2016 angenommen. In Summe sind 1.022 Fahrtreppen verbaut.

In den Jahren 2009 bis 2011 wurden insgesamt 86 Fahrtreppen der im spurwerk.nrw organisierten Betriebe ausgetauscht, 2012 wurden nochmals 90 Fahrtreppen bestellt (spurwerk.nrw 2012). Es wird angenommen, dass diese zwischen 2012 und 2014 verbaut wurden, da bereits 2015 eine weitere Bestellung von 52 Fahrtreppen erfolgte, welche bis 2017 eingebaut werden sollen (Bogestra AG 2015). Es wird jeweils das Jahresmittel der bestellten Fahrtreppen angenommen, d.h. 28,6 Fahrtreppen pro Jahr zwischen 2009 und 2011, 30 Fahrtreppen pro Jahr für 2012 bis 2014 sowie 17,3 Fahrtreppen pro Jahr für 2015 bis 2017. Der Wert für 2017 wird für auszutauschende Fahrtreppen des Einbaujahrs 1987 veranschlagt. Für Fahrtreppen früherer Einbaujahre konnten keine Informationen gefunden werden. Es werden daher die verbliebenen Fahrtreppen gleichmäßig auf die Baujahre 1988 bis 2008 aufgeteilt, was im Mittel 37,8 Fahrtreppen entspricht.

Hinsichtlich eines Zu- bzw. Abbaus findet sich lediglich ein Hinweis auf die Notwendigkeit des barrierefreien Ausbaus der KVB AG in Köln, welcher bis 2022 abgeschlossen sein soll (Kölner Stadt-Anzeiger 2016a). Analog zur Berliner BVG und Hamburger Hochbahn wird dazu der Abbau von einer Fahrtreppe pro Jahr angenommen bis einschließlich 2022.

5.4.1.9 Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB)

Die Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB) betreibt 103 Fahrtreppen (Stuttgarter Nachrichten 2016). Bezüglich der Einbaujahre, auszutauschenden Fahrtreppen oder Zu- bzw. Abbau konnten keine Informationen gefunden werden. Bei Anfrage gab die SSB keine Daten heraus (Schefenacker 2017). Daher wird für die Fahrtreppen der SSB bei der nachfolgenden Aufsummierung ersatzweise eine Verteilung der Einbaujahre gemäß der durchschnittlichen Verteilung der bekannten bzw. abgeschätzten Einbaujahre der anderen ÖPNV-Betreiber verwendet. Ein Zu- bzw. Abbau wird mangels Hinweisen dazu nicht angenommen.

5.4.2 Gebäudetechnikenebene: Aufsummierung der Einzeldaten

Die Aufsummierung der ermittelten bzw. geschätzten Fahrtreppenbestände nach Anhang A2.3 ergibt für Bahnstationen einen Gesamtbestand von 4.040 Fahrtreppen im Basisjahr 2016.

5.4.2.1 Zubau und Abbau

Aufsummiert über alle Betreiber ergibt sich ein Zubau von einer Fahrtreppe jährlich bis zum Jahr 2030 sowie ein Abbau von jährlich 3,5 Fahrtreppen bis 2022, 2,5 Fahrtreppen bis 2025 und schließlich 1,5 Fahrtreppen bis 2040 (Anhang A2.3). Für den Abbau wird angenommen, dass dieser in der Regel bei nur bei Fahrtreppen stattfindet, welche am Ende ihrer Nutzungsdauer stehen. Da die Menge der verbliebenen Fahrtreppen der Altersklasse *bis 1980* sehr gering ist, werden die aus dieser Altersgruppe abgebauten Geräte von den auszutauschenden abgezogen.

5.4.2.2 Austausch von Fahrtreppen am Ende ihrer Nutzungsdauer

Die Verteilung der ermittelten bzw. geschätzten Einbaujahre der Fahrtreppen nach Anhang A2.3 ist in Abbildung 5-57 dargestellt. Da für die DB Station&Service AG und die SSB keine Verteilungen der Einbaujahre ermittelt bzw. abgeschätzt werden konnten, wurden diese entsprechend der Verteilung der Einbaujahre aller anderen Betreiber angenommen.

Die Verteilung ist im Vergleich zu den Teilmodellen Einkaufszentren bzw. Warenhäuser deutlich homogener. Trotz der durchschnittlichen Nutzungsdauer von 30 Jahren bestehen noch einige Fahrtreppen vor 1987. Ab etwa 2002 ist ein insgesamt leichter Rückgang der jährlich eingebauten Fahrtreppen zu erkennen. Der Ausbau der Streckennetze und der Bahnstationen ist weitestgehend abgeschlossen, sodass im Wesentlichen nur noch Austausch veralteter bzw. defekter Fahrtreppen weiteren Input erzeugt.

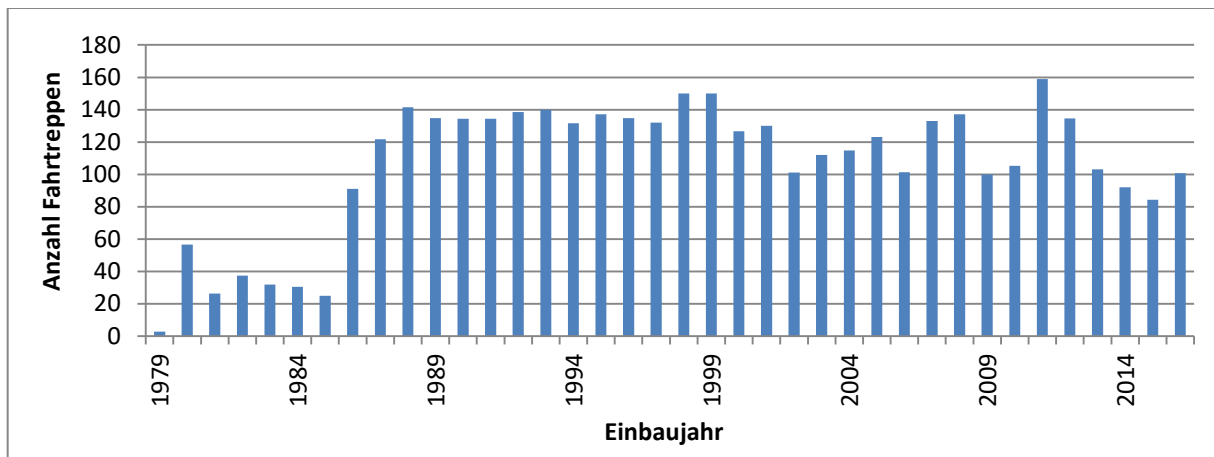


Abbildung 5-57: Anzahl der Fahrtreppen in Bahnstationen nach ermitteltem bzw. geschätztem Einbaujahr.

Analog zur Vorgehensweise beim Teilmodell Warenhäuser und beim Teilmodell Einkaufszentren werden aus dieser Verteilung die bis 2040 auszutauschenden Fahrtreppen abgeschätzt. Dazu wird zunächst eine durchschnittliche Nutzungsdauer als Erwartungswert μ benötigt.

Bei Fahrtreppen an Bahnstationen ist im Vergleich zu denen in Einkaufszentren und Warenhäusern mit deutlich kürzeren Reparatur- bzw. Austauschintervallen zu rechnen. Dies liegt unter anderem an stärkerer Aussetzung gegenüber Witterungsbedingungen, unvorsichtigerem Verhalten der Nutzer, größeren Lasten und Vandalismus (Abgeordnetenhaus Berlin 2016).

Kurt Beier, U-Bahn-Betriebsleiter der BVG, geht davon aus, dass zwischen 2014 und 2024 der Großteil der Fahrtreppen aus den 1980er und 1990er Jahren ausgetauscht bzw. durch normale Treppen und Aufzüge ersetzt werden wird (Tagesspiegel 2004). Daraus lässt sich auf eine Nutzungsdauer von rund 30 Jahren schließen. Dies wird auch seitens der Hamburger Hochbahn, üstra in Hannover, VGF in Frankfurt am Main und MVG in München als durchschnittliche bzw. erreichbare Nutzungsdauer angegeben (Hannoversche Allgemeine 2011; Gängrich 2015; Conrads 2016; Münchner Verkehrsgesellschaft mbH 2017). Weitere Quellen sprechen von 25 bzw. von 15 bis 40 Jahren (tz 2011; WAZ 2015).

Es wird somit als Erwartungswert μ eine Nutzungsdauer von 30 Jahren angesetzt, als Standardabweichung σ werden in diesem Fall 8 Jahre angenommen, da noch relevante Mengen an Fahrtreppen der Einbaujahre 1979 bis 1986 ermittelt wurden und teilweise kürzere Nutzungsdauern angegeben wurden. Es ergibt sich nach einer Berechnung analog zum Vorgehen der vorangegangenen Teilmodelle die in Abbildung 5-58 dargestellte Verteilung der auszutauschenden Fahrtreppen.

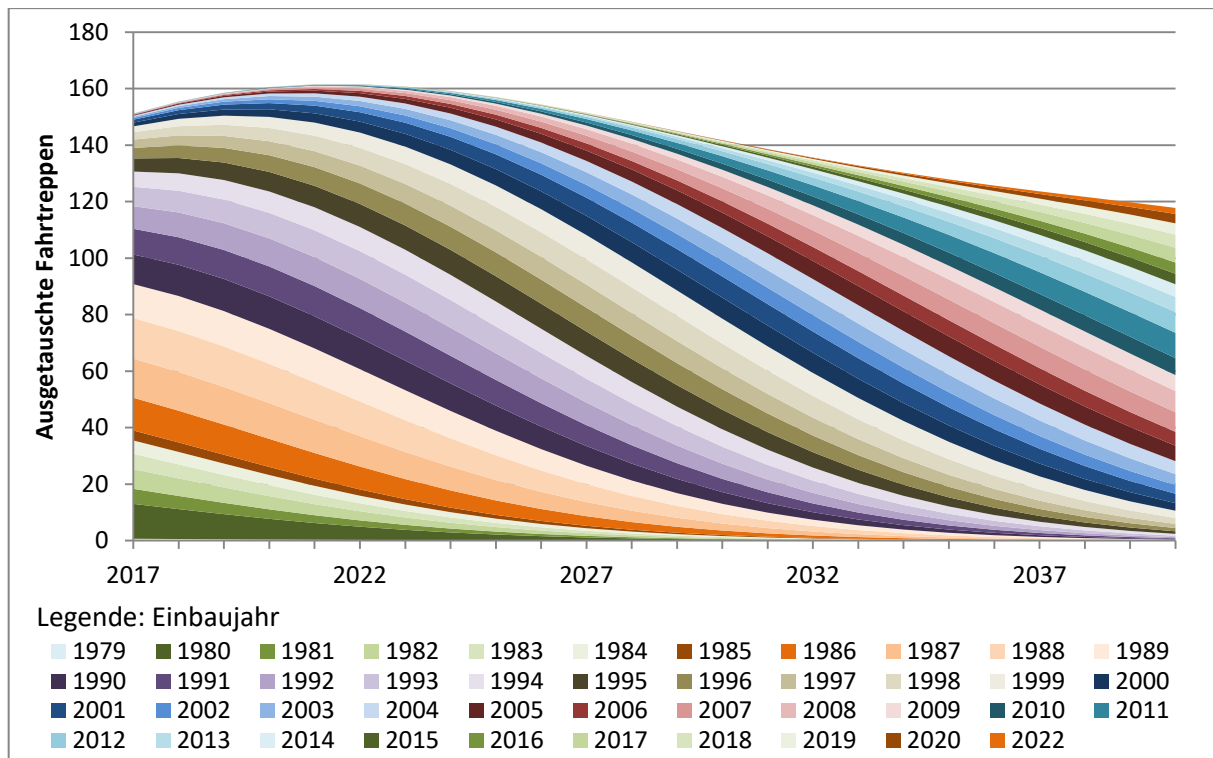


Abbildung 5-58: Annahme des zukünftigen Austauschs von Fahrtreppen zum Ende der Nutzungsdauer in Bahnstationen.

Bis zum Jahr 2021/2022 ist zunächst mit einem Anstieg der auszutauschenden Fahrtreppen zu rechnen, danach sinkt ihre Anzahl stetig. Langfristig, d.h. nach 2040 ist hingegen wieder mit einem Anstieg der auszutauschenden Fahrtreppen zu rechnen, da dann die innerhalb des Betrachtungszeitraumes neu eingebauten Fahrtreppen wiederum das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht haben werden.

5.4.3 Rohstoffgehalte Stahl sowie Aluminium

Für die Ermittlung der durchschnittlichen Fahrtreppe wurden stichprobenartig Fahrtreppen bei sechs Betreibern bzw. der Kooperation abgemessen wie in Kapitel 5.1.5 erläutert. Im Fall des Hamburger Verkehrsverbundes (HVV) konnten zusätzlich Anzahl und Breite aller Fahrtreppen aus Stationsplänen der Onlinedatenbank ermittelt werden (HVV 2017). Dabei bestehen in den meisten Fällen parallel Treppen, für welche die Stufenanzahl angegeben ist (siehe Abbildung 5-59). Zur Ermittlung der Förderhöhe der Fahrtreppen wurde diese Stufenzahl mit der bei 33 Aufnahmen im Bereich des HVV vor Ort festgestellten Stufenhöhe der Treppen von ausschließlich 16 cm multipliziert.

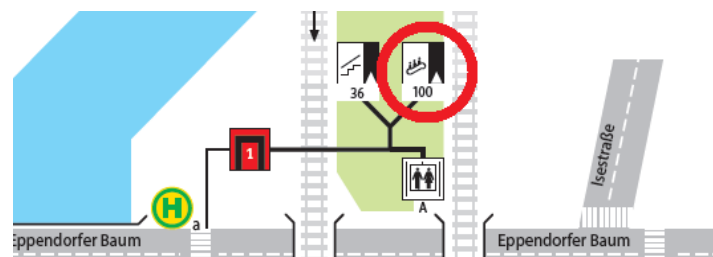


Abbildung 5-59: Ausschnitt aus einem Stationsplan des HVV mit einer Fahrtreppe (hervorgehoben durch roten Kreis) mit 100 cm Breite sowie einer parallel verbauten Treppe mit 36 Stufen (HVV 2017).

Insgesamt konnten Abmessungen für 475 Fahrtreppen ermittelt werden. Ihre jeweiligen Mittelwerte entsprechen den Abmessungen der durchschnittlichen Fahrtreppe für Bahnstationen. Diese sind in Tabelle 5-27 aufgelistet.

Tabelle 5-27: Mittelwerte der Fahrtreppenabmessungen aus der Geräteaufnahme bei Bahnstationen

Variable	Bezeichnung	Mittelwert	Bemerkung
H	Förderhöhe	5,49 m	-
g	Stufenhöhe	20,03 cm	98,9% mit 20 cm, 1,1% mit 23 cm
h	Stufentiefe	40 cm	einheitlich
w	Stufenbreite	99,12 cm	96,2% mit 100 cm, 3,2% mit 80 cm, 0,6% mit 60 cm
α	Steigungswinkel	30,05°	siehe Bemerkung Stufenhöhe
l'	Hypotenuse des Förderbereichs	10,96 m	Hypotenuse des Dreiecks aus Förderhöhe, Stufen und Fahrtreppenlänge, d.h. „schräge Länge“, ermittelt aus $H / \sin \alpha$

Im Gegensatz zu Fahrtreppen in Warenhäusern und Einkaufszentren handelt es sich in diesem Fall um Verkehrsfahrtreppen, die stärkerer Witterung ausgesetzt sind und höhere mechanische Beanspruchung bei der Nutzung erleben wie schwere Gepäckstücke, Kinderwagen etc. Die widerstandsfähigere Konstruktion führt zu höheren Rohstoffgehalten. Es wird angenommen, dass alle betrachteten Komponenten jeweils 30% mehr Masse aufweisen (Kapitel 5.1.4).

Die Berechnung der Rohstoffgehalte erfolgt somit analog zu den bisherigen Teilmodellen, wobei die Ergebnisse jeweils um 30% erhöht werden. Die sich ergebenden Rohstoffgehalte der einzelnen Komponenten und der gesamten durchschnittlichen Fahrtreppe jeder Altersklasse sind in Tabelle 5-28 angegeben.

Tabelle 5-28: Rohstoffgehalte der durchschnittlichen Fahrtreppe in Bahnstationen

Komponente	Altersklasse					
	bis 1980		1981 - 1990		ab 1991	
	Aluminium- gehalt in kg	Stahlgehalt in kg	Aluminium- gehalt in kg	Stahlgehalt in kg	Aluminium- gehalt in kg	Stahlgehalt in kg
Traggerüst	0	2.165,58	0	2.165,58	0	2.165,58
Stufen	0	1.880,23	563,65	940,12	1127,30	0
Förderkette	0	507,27	0	507,27	0	507,27
Laufschienen	0	328,19	0	328,19	0	328,19
Antritts- und Kammplatten	0	140,56	12,05	137,04	31,32	91,36
Antriebs- und Umlenkräder	0	3.120,00	0	3.120,00	0	3.120,00
Summe	0,00	8.141,83	575,70	7.198,20	1.158,62	6.212,41

5.4.4 Treiber auf Rohstoffebene

Hinsichtlich der Reparaturintervalle gibt ein Zeitungsartikel aus dem Jahr 1996 an, dass die BVG ihre Fahrtreppen alle acht bis zehn Jahre überhole, d.h. das komplette Innenleben austausche (Berliner Kurier 1996). 2007 wird in einem anderen Artikel berichtet, dass eine Rolltreppe der BVG im Schnitt fünf Jahre „halte“ (Laninger 2007). Es wird davon ausgegangen, dass nach diesen fünf Jahren lediglich erste Defekte auftreten, die komplette Modernisierung des Geräts allerdings noch nicht notwendig ist. Die Hochbahn Hamburg gibt als Intervall der Grundüberholung 15 Jahre an, wobei Rollen, Kugellager und elektrische Bauteile ausgetauscht werden (Gängrich 2015). Die üstra in Hannover rechnet nach 25 Jahren mit einer Grundüberholung (Wendel 2017).

Es wird für die Modellierung davon ausgegangen, dass eine Reparatur vom Umfang einer Generalüberholung nach der Hälfte der durchschnittlichen Nutzungsdauer, d.h. nach einem Erwartungswert μ von 15 Jahren stattfindet. Als Standardabweichung σ werden dabei aufgrund der kurzen Intervalle 2 Jahre angenommen.

Die Anzahl der jährlich zu reparierenden Fahrtreppen ist in Anhang A4.3 beigefügt. Vor 1991 eingebaute Fahrtreppen werden nicht mehr repariert, sondern direkt ausgetauscht. Daher wird lediglich die Altersklasse *ab 1991* berücksichtigt. Die Berechnungen werden analog zu den Reparaturen von Fahrtreppen in Warenhäusern durchgeführt (Kapitel 5.2.6). Für die Reparatur werden somit die in Tabelle 5-29 aufgelisteten Rohstoffgehalte notwendig.

Tabelle 5-29: Rohstoffbedarf durch Reparatur von Fahrtreppen in Bahnstationen

Komponente	Aluminiumgehalt in kg	Stahlgehalt in kg
1% der Stufen	11,27	0
Förderkette	0	507,27
Laufschienen	0	328,19
Summe	11,27	835,46

5.4.5 Berechnung und Ergebnisse des Materialflussteilmodells

Die Berechnung des Modells erfolgt wie bereits aus den anderen Teilmodellen bekannt, wobei direkt in der Gebäudetechnikebene begonnen wird. Die detaillierte Berechnung ist in Anhang A5.7 bzw. A6.2 dargestellt. Wie in Abbildung 5-60 gezeigt, wird der Input und Output der Fahrtreppen in Bahnstationen fast ausschließlich durch den Austausch von Fahrtreppen generiert.

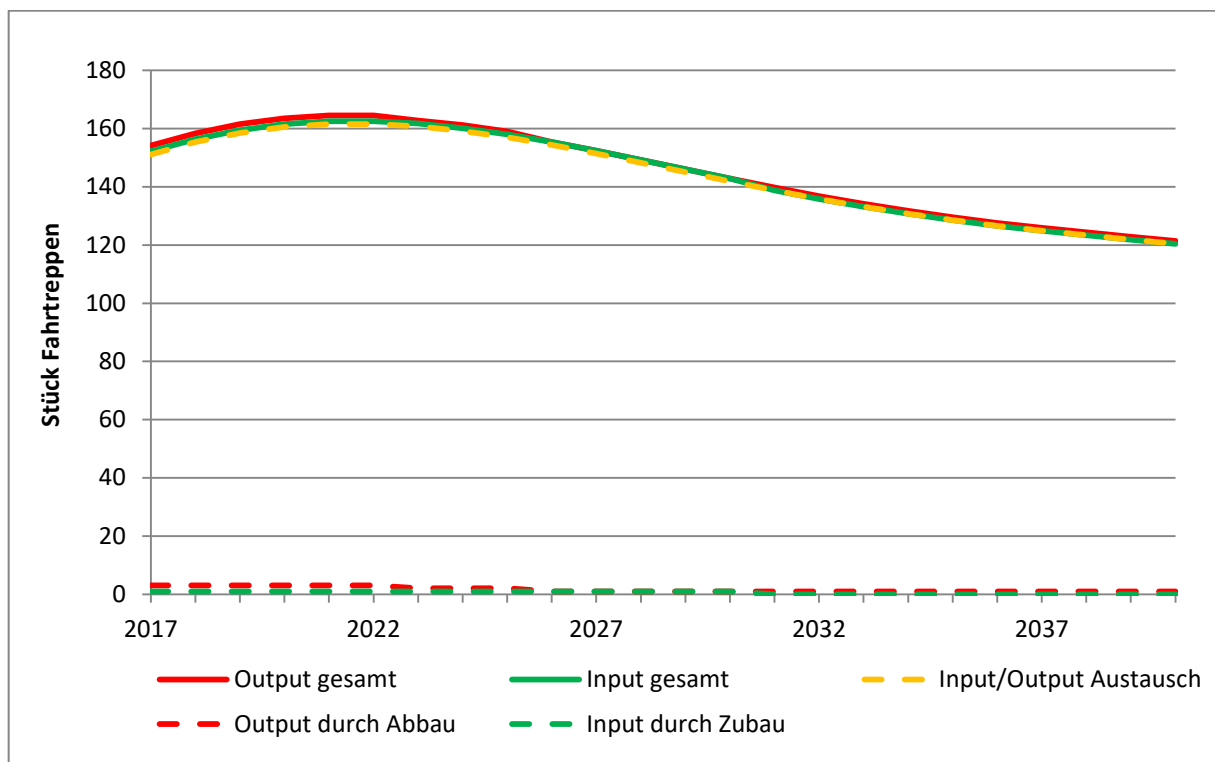


Abbildung 5-60: Fahrtreppeninputs und -outputs in Bahnstationen.

Zubau und Abbau machen nur einen vernachlässigbar kleinen Anteil aus. Dies ist der Annahme geschuldet, dass mittelfristig keine wesentlichen Neubauten von oder Erweiterungen der bestehenden Bahnstationen zu erwarten sind. Im Betrachtungszeitraum bis 2040 sinken In- und Outputs infolge der Verringerung auszutauschender Fahrtreppen. Langfristig ist jedoch wieder mit einem Anstieg zu rechnen wie bereits in Kapitel 5.4.2 erläutert.

Da sich Input und Output nahezu ausgleichen, bleibt auch das in Abbildung 5-61 dargestellte Fahrtreppenlager nahezu gleich groß. Bis 2040 sinkt es in der Abschätzung von 4.040 Fahrtreppen auf 4.015 Fahrtreppen.

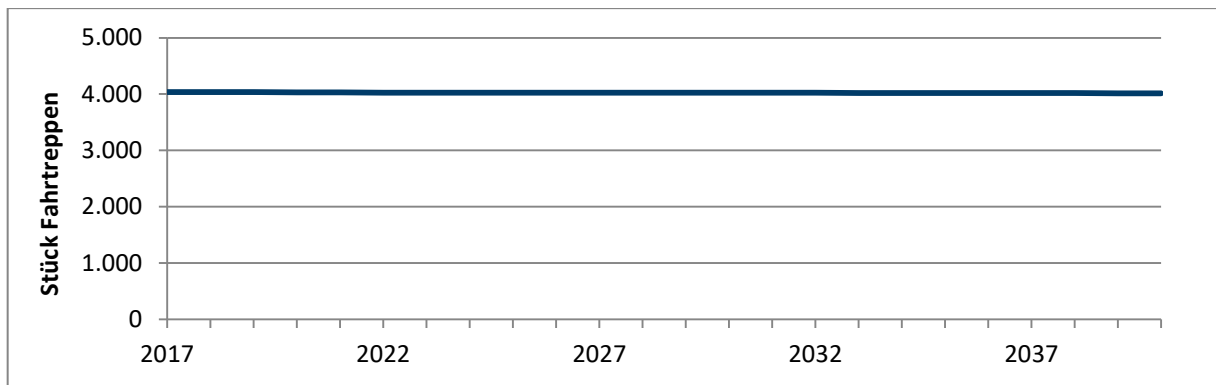


Abbildung 5-61: Entwicklung des Fahrtreppenlagers in Bahnstationen.

Aufgrund der zurückgehenden Menge der auszutauschenden Fahrtreppen ist bei der in Abbildung 5-62 dargestellten Entwicklung der In- und Outputs von Stahl ebenfalls ein Rückgang zu erkennen.

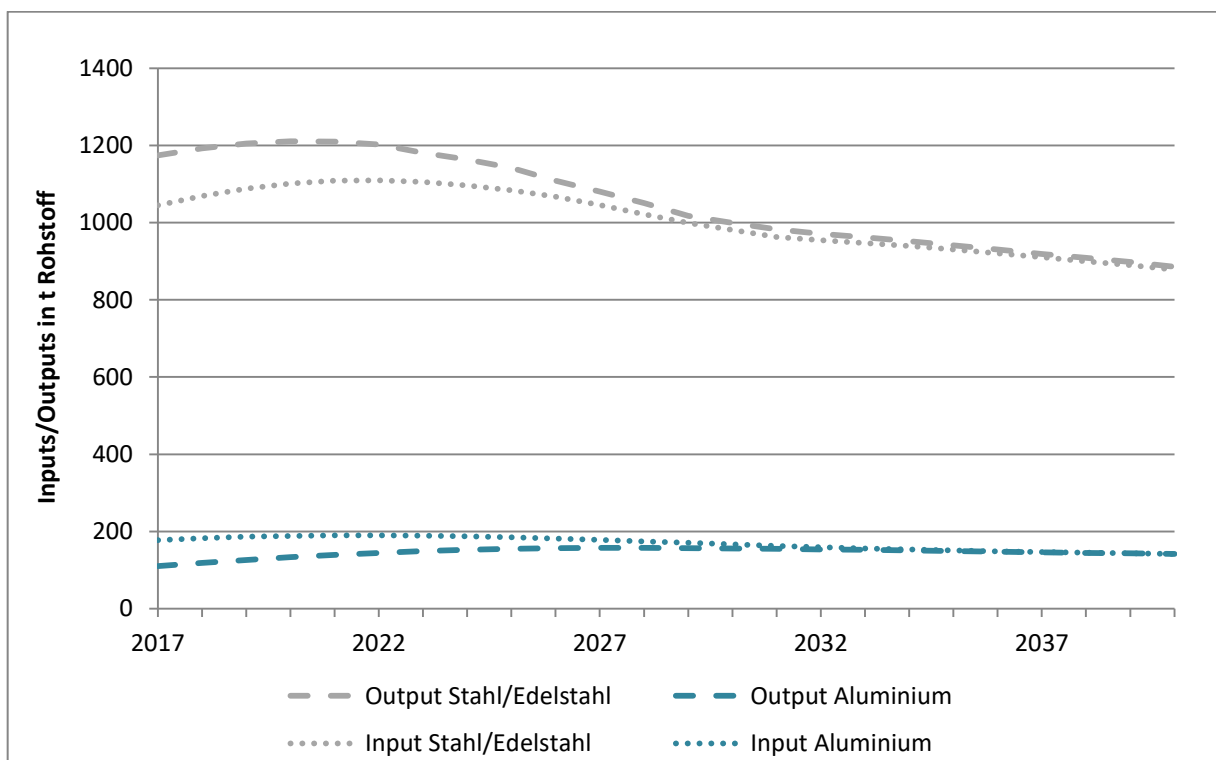


Abbildung 5-62: Rohstoffinputs und -outputs von Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen in Bahnstationen.

Die Outputs sind anfangs noch geringfügig größer als die Inputs, gleichen sich aber im Laufe des Betrachtungszeitraums an. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ältere Fahrtreppen zunehmend mit moderneren Fahrtreppen der Altersklasse *ab 1991* ersetzt werden, welche über geringere Stahlgehalte verfügen. Für das ebenfalls dargestellte Aluminium hingegen ist lediglich eine geringe Verringerung der Inputs bzw. Outputs zu erkennen, zudem ist der Input zunächst höher als bei Stahl. Dies ist auf den höheren Aluminiumgehalt der Fahrtreppen *ab 1991* zurückzuführen, welche ältere Fahrtreppen mit geringerem Gehalt ersetzen. Der dadurch entstehende Zuwachs an Aluminium im Lager gleicht die geringer werdende Menge der Fahrtreppenaustausche wieder aus. Insgesamt ergibt sich daher ein geringfügig sinkendes Lager für Stahl sowie für Aluminium ein geringfügig steigendes, wie in Abbildung 5-63 gezeigt.

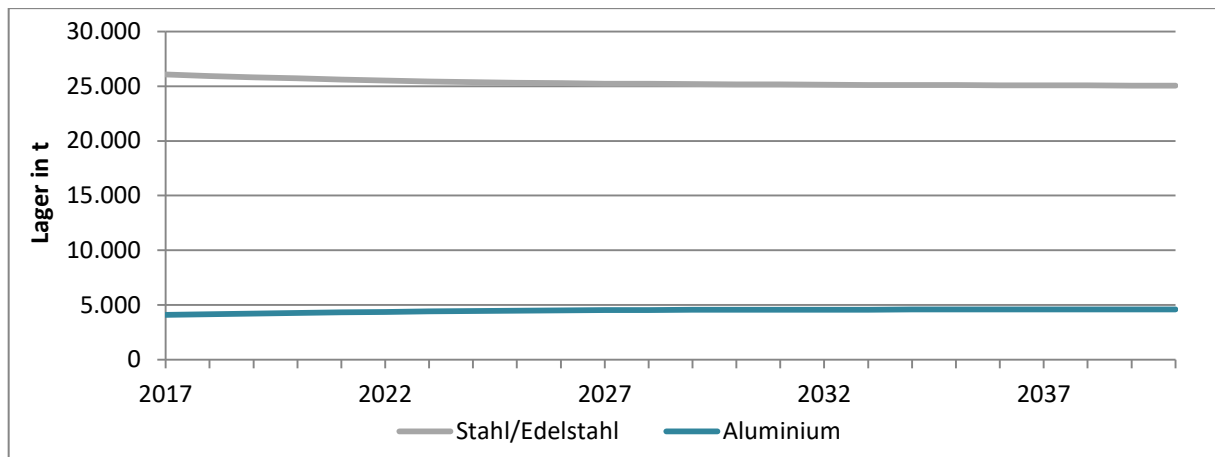


Abbildung 5-63: Entwicklung der Rohstofflager Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen in Bahnstationen.

Bei Kupfer entspricht die Entwicklung sowohl der Inputs und Outputs als auch des Lagers wiederum der jeweiligen Entwicklung auf der Gebäudetechnikebene, da von einem einheitlichen Gebäudetechnikgehalt ausgegangen wird. Dies ist in Abbildung 5-64 und Abbildung 5-65 gezeigt.

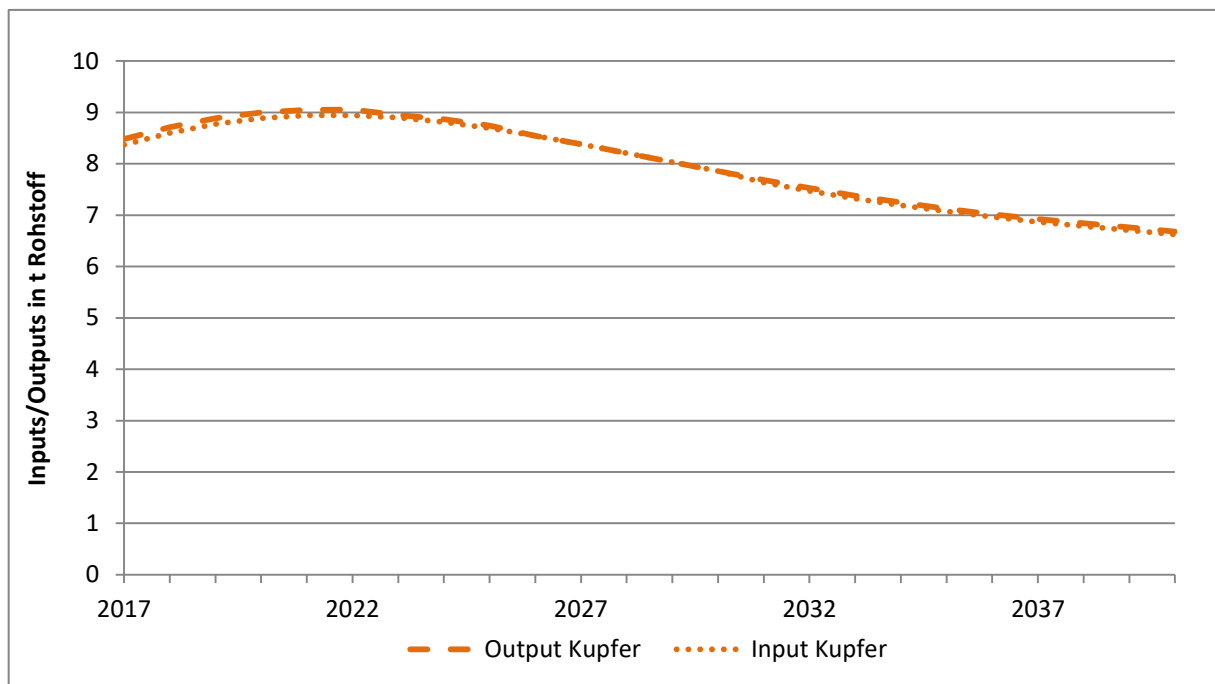


Abbildung 5-64: Rohstoffinputs und -outputs von Kupfer aus Fahrtreppen in Bahnstationen.

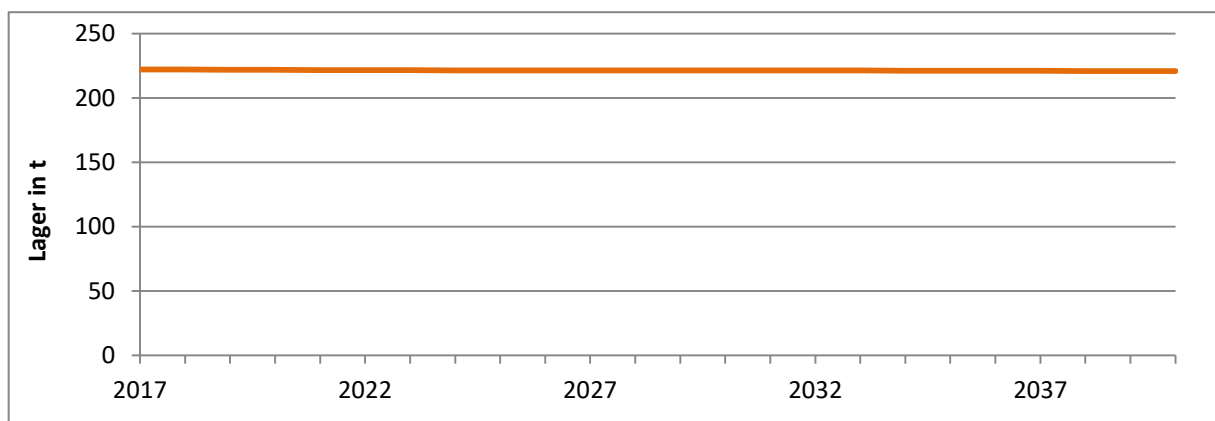


Abbildung 5-65: Entwicklung des Rohstofflagers Kupfer aus Fahrtreppen in Bahnstationen.

5.5 Teilmodell Verkehrsflughäfen

Flughäfen können sowohl als Frachtflughafen als auch als Verkehrsflughafen dienen. Bei Verkehrsflughäfen ist in der Regel stoßweise bis dauerhaft mit einem hohen Besucheraufkommen zu rechnen. Terminals größerer Flughäfen wie beispielsweise Frankfurt am Main verfügen darüber hinaus oft über mehrere Ebenen, welche nicht nur die für die Abfertigung notwendigen Funktionen beinhalten, sondern auch Gastronomieangebote und Einzelhandelsgeschäfte. Daher sind an diesen Orten ebenfalls Fahrtreppen zu erwarten. In reinen Frachtflughäfen hingegen sind keine nennenswerten Mengen von Personen zu befördern. Daher ist dort nicht mit Fahrtreppen zu rechnen.

5.5.1 Treiber auf der Gebäudeebene

In Deutschland existieren derzeit 34 regionale oder internationale Verkehrsflughäfen sowie der noch nicht in Betrieb befindliche Flughafen Willy Brandt in Berlin (BER). Als Bestandsdaten für Flughäfen sind flächendeckend lediglich die Kapazitäten in Passagieren pro Jahr verfügbar. Diese sind, wie in Kapitel 5.5.2 gezeigt wird, keine geeignete Bezugsgröße für eine Bottom-up-Hochrechnung, ermöglichen aber überschlägige Abschätzungen der Fahrtreppen einzelner Flughäfen.

Da alle Fahrtreppen entweder durch Befragung oder Abschätzung ermittelt werden können, wird direkt auf der Gebäudetechnikenebene mit der Berechnung des Teilmodells begonnen. Treiber auf der Gebäudeebene erzeugen jedoch ebenfalls In- und Outputs von Fahrtreppen. Diese werden nachfolgend abgeschätzt und direkt in Fahrtreppen quantifiziert.

Für die Annahme im Teilmodell wird der Zuwachs des Passagieraufkommens der vergangenen Dekade analysiert. Es wird davon ausgegangen, dass dieser mittelfristig gemäß dem bisherigen Trend erfolgt. Daraus hochgerechnete Passagieraufkommen für 2026 und 2036 werden mit den bestehenden Kapazitäten verglichen wie in Tabelle 5-30 dargestellt.

Tabelle 5-30: Bestehende Kapazitäten sowie hochgerechnetes Passagieraufkommen von Verkehrsflughäfen für 2026 und 2036

Flughafen	Zuwachs Passagieraufkommen 2007 auf 2016	Passagieraufkommen 2016 in 1.000 PAX	Hochrechnung Passagieraufkommen in 1.000 PAX		Kapazität in 1.000 PAX/a
			2026	2036	
Münster/Osnabrück	-46,2%	787	424	228	4.000
Frankfurt-Hahn	-37,9%	2.513	1.562	970	5.000
Erfurt-Weimar	-20,1%	235	188	150	800
Nürnberg	-14,4%	3.485	2.982	2.552	4.000
Stuttgart	-14,2%	10.641	9.134	7.841	14.000
Leipzig/Halle	-10,2%	2.192	1.968	1.767	4.500
Dresden	-3,7%	1.668	1.606	1.547	3.500
Frankfurt am Main	-0,2%	60.787	60.665	60.544	65.000
Berlin-Schönefeld	1,8%	11.653	?	?	7.000
Hannover-Langenhagen	2,3%	5.409	5.534	5.662	8.000
Köln/Bonn	12,8%	11.900	13.423	15.142	14.000
Dortmund	17,3%	1.919	2.251	2.640	2.500
Bremen	20,4%	2.574	3.098	3.729	n. v.
Saarbrücken	24,7%	401	500	624	700
Düsseldorf	32,9%	23.511	31.253	41.546	24.000
Hamburg	37,7%	16.220	22.341	30.771	16.000
München	44,6%	42.278	61.115	88.345	61.000
Berlin-Tegel	80,2%	21.254	-	-	12.000
Niederrhein (Weeze)	123,4%	1.854	(4.142)	(9.252)	2.500
Gesamt	26,0%				

Legende: grün: starke Überauslastung, rot: starke Unterauslastung, PAX: Passagiere, a: Jahr, n. v.: nicht vorhanden

Quellen: aggregiert aus (Flughafenverband ADV 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016)

Das Passagieraufkommen ist von 2007 auf 2016 um insgesamt 26% gestiegen. Dabei verzeichnen die einzelnen Flughäfen jedoch sehr unterschiedliche Entwicklungen. Während beim Flughafen Berlin Tegel beispielsweise ein Zuwachs von über 80% entstand, sank das Passagieraufkommen in Münster/Osnabrück um mehr als 46%. Dementsprechend sind sowohl Ausbauten als auch Schließungen von Flughäfen zu erwarten.

Eine starke Unterauslastung wird angenommen, wenn die Kapazität zu weniger als 50% ausgelastet wird. Sie ist in der Tabelle rot markiert und betrifft bereits im Basisjahr fünf Flughäfen, welche zudem eine Verringerung des Passagieraufkommens verzeichnen. Für den wirtschaftlichen Betrieb kommt erschwerend hinzu, dass vor allem für Flughäfen mit geringer Kapazität ab 2024 bedingt durch neue Regelungen der EU Subventionen verringert werden (aero.de 2014).

Für den Flughafen Münster/Osnabrück wird daher davon ausgegangen, dass der Fluggastbetrieb mittelfristig eingestellt und der Flughafen abgebrochen wird. Als Jahr wird dafür 2026 angenommen. Für die Flughäfen Frankfurt-Hahn sowie Erfurt-Weimar sind ebenfalls Schließungen wahrscheinlich, jedoch sind diese im Rahmen des Materialflussmodells irrelevant, da in beiden Flughäfen keine Fahrtreppen enthalten sind (siehe Kapitel 5.5.2). Ihre Entwicklung wurde dennoch untersucht, um mögliche Ausbauten ausschließen zu können. Bei den Flughäfen Leipzig/Halle sowie Dresden ist aufgrund der engen räumlichen Nähe eine Zusammenlegung sinnvoll. Die Kontroversen über die Schließung des Flughafens Berlin-Tempelhof im Jahr 2008 sowie des Flughafens Berlin-Tegel zur Eröffnung des BER zeigen jedoch, dass solche Maßnahmen großen Widerstand in der Bevölkerung erzeugen können (Welt.de 2008; Epoch Times 2017). Es wird daher davon ausgegangen, dass beide Flughäfen zumindest bis 2040 beibehalten werden, möglicherweise mit ungenutzten Flugsteigen.

Die Flughäfen Düsseldorf sowie Hamburg verzeichneten in der vergangenen Dekade einen hohen Zuwachs des Passagieraufkommens. Beide Flughäfen operieren derzeit an ihrer Kapazitätsgrenze. Für Hamburg ist bereits ein Ausbau um 27 Gates zu den bestehenden 40 geplant und soll bis 2025 abgeschlossen werden (Hamburger Abendblatt 2017). Es wird angenommen, dass somit 27/40 der bereits vorhandenen Fahrtreppen im Jahr 2025 hinzukommen. Für Düsseldorf entscheidet derzeit die Planfeststellungsbehörde über einen Ausbauantrag (Bezirksregierung Düsseldorf 2017). Es wird davon ausgegangen, dass der Ausbau erfolgen kann und 2030 abgeschlossen sein wird. Dabei wird aufgrund des angenommenen Passagierzuwachses eine Kapazität des Flughafens von insgesamt 40 Mio. Passagierbewegungen pro Jahr angenommen. Der Fahrtreppeninput wird aus der bestehenden Anzahl der Fahrtreppen und der derzeitigen Kapazität hochgerechnet.

Der Flughafen München besitzt derzeit ausreichende Kapazitäten, um den bis 2026 angenommenen Passagierzuwachs abfertigen zu können. Für den weiteren Zuwachs bis 2036 wird angenommen, dass eine Kapazitätserweiterung auf insgesamt 90 Mio. Passagierbewegungen pro Jahr vorgenommen wird. Es wird davon ausgegangen, dass diese im Jahr 2032 abgeschlossen sein wird. Der Fahrtreppeninput wird wiederum aus der bestehenden Anzahl der Fahrtreppen und der derzeitigen Kapazität hochgerechnet und beträgt 56 Fahrtreppen.

Für den Flughafen Niederrhein (Weeze) ist zwar der Zuwachs des Passagieraufkommens zwischen 2007 und 2016 mit rund 126% sehr hoch, beschränkt sich jedoch größtenteils auf sehr starke Einzelzuwächse in den Jahren 2008 und 2009 (Flughafenverband ADV 2008, 2009). Es wird daher davon ausgegangen, dass der Flughafen mittelfristig deutlich geringere Zuwächse verzeichnet und das Passagieraufkommen sich in einem Bereich stabilisiert, welcher durch die derzeitige Kapazität getragen werden kann.

Für die Flughäfen Berlin-Schönefeld sowie Berlin-Tegel ist trotz deutlich überschrittener Kapazitäten kein Ausbau notwendig, sofern der Flughafen BER eröffnet wird. Dessen zum Stand der Recherche im Oktober 2017 geplantes Eröffnungsdatum ist der 30. September 2019. Geplant sei zudem bereits eine Kapazitätserweiterung des BER von derzeit 22 Mio. auf 33 Mio. Passagierbewegungen pro Jahr. Am benachbarten Flughafen Berlin-Schönefeld sollen zukünftig 13 Mio. Passagiere pro Jahr abgefertigt

werden (Tagesspiegel 2017a). Die Aussagen werden in Anbetracht der bisherigen Entwicklung des Bauprojekts kritisch gesehen. Daher werden im Teilmodell bis 2040 weder die Erweiterung des BER noch eine Erweiterung des Flughafens Berlin-Schönefeld angenommen. Das tatsächliche Eröffnungsjahr ist im Rahmen des Materialflussmodells für den Input von Fahrtreppen irrelevant, da diese vermutlich bereits vollständig verbaut sind. 2013 wurde der Einbau mehrerer Fahrtreppen dokumentiert (Berliner Morgenpost 2013). Aufgrund des langen Zeitabstands zwischen Einbau und Beginn der Nutzung erscheint das Einbaujahr nicht repräsentativ als Startpunkt der Nutzungsdauer. Daher wird in diesem Fall anstelle dessen das Eröffnungsjahr des Flughafens verwendet. Entsprechend einer Expertenschätzung wird das Jahr 2022 dafür als realistisch angenommen (Tagesspiegel 2017a). Beim Flughafen Berlin-Tegel wird derzeit diskutiert, ob der Flugbetrieb infolge der Eröffnung des BER eingestellt werden soll (Epoch Times 2017). Aus rechtlicher Sicht erscheint dies wahrscheinlich (Tagesspiegel 2017b). Das Terminal, welches derzeit die beiden Fahrtreppen beinhaltet, soll nach aktuellen Plänen zu einem Kongresszentrum umgenutzt werden (Tagesspiegel 2016c). Es wird daher angenommen, dass die Fahrtreppen zunächst erhalten bleiben.

5.5.2 Gebäudetechniklager und Treiber auf der Gebäudetechnikebene

Bei einigen Flughäfen wird bereits durch Lageplan und Fotografien auf der Internetseite offensichtlich, dass sie nur über ein ebenerdiges Terminal verfügen und somit keine Fahrtreppen verbaut wurden. Bei den weiteren Flughäfen wurden Lagepläne untersucht bzw. die Betreiber um Informationen zur Anzahl der Fahrtreppen, Einbaujahren, Abmessungen sowie Nutzungsdauer und möglichen Ausbauplänen gebeten. Für Flughäfen, über die auf diesen Wegen keine Daten zu den Fahrtreppen gefunden werden konnten, müssen Annahmen auf Grundlage der Kapazität getroffen werden.

Flughäfen mit geringer Kapazität verfügen meist nur über eine Ebene und/oder benötigen aufgrund des verhältnismäßig geringen Passagieraufkommens keine Fahrtreppen. Besitzen sie dennoch Fahrtreppen, so ist deren Gehalt pro 1 Mio. PAX deutlich höher als bei Flughäfen mit hoher Kapazität. Es kann daher kein genereller Fahrtreppengehalt je PAX angegeben werden. Die fehlenden Fahrtreppenzahlen werden daher mithilfe gewichteter Mittelwerte der Fahrtreppengehalte von Flughäfen vergleichbarer Kapazität abgeschätzt. Die ermittelte oder geschätzte Anzahl von Fahrtreppen in Flughäfen ist in Anhang A2.4 aufgelistet. Insgesamt sind dies 369 Fahrtreppen.

5.5.2.1 Zubau und Abbau

Es wird davon ausgegangen, dass in der Regel weder Zubau noch Abbau von Fahrtreppen vorgenommen wird, da dafür keine Anhaltspunkte vorliegen.

5.5.2.2 Austausch der Fahrtreppen zum Ende ihrer Nutzungsdauer

Die Einbaujahre der Fahrtreppen konnten in den meisten Fällen durch Befragung der Betreiber in Erfahrung gebracht werden. War dies nicht der Fall, so wurden die Eröffnungsjahre des jeweiligen Terminals als Näherungswert verwendet. Es ergibt sich die in Abbildung 5-66 dargestellte Verteilung.

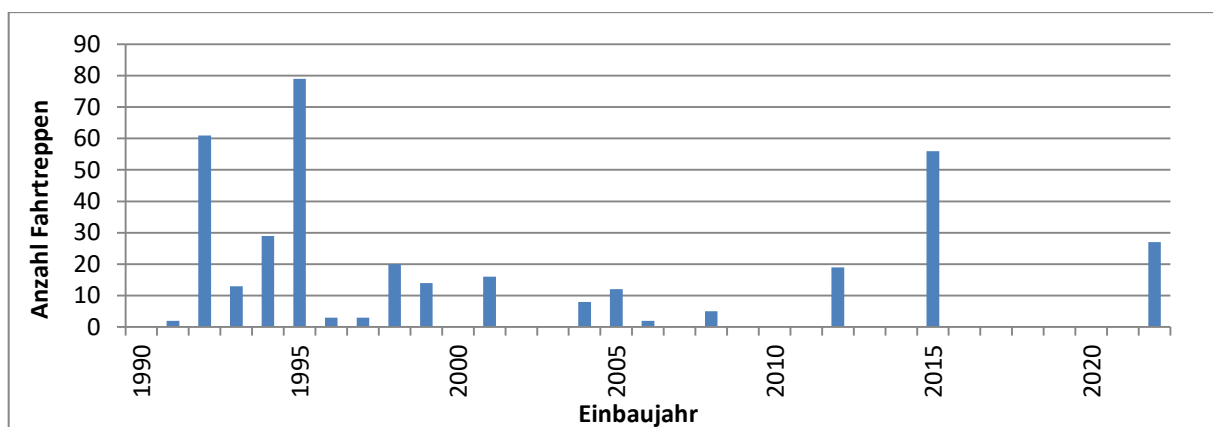


Abbildung 5-66: Einbaujahre der Fahrtreppen von Verkehrsflughäfen (2022: verzögert erfasste Fahrtreppen des BER).

Zu berücksichtigen ist, dass das Einbaujahr der 27 Fahrtreppen des Flughafens BER vom eigentlichen Einbaujahr 2013 auf das voraussichtliche Eröffnungsjahr 2022 umdatiert wurden, da dies für die Nutzungsdauer zu einem repräsentativeren Ergebnis führt. Für die Berechnung des Fahrtreppen- bzw. Rohstofflagers wird jedoch 2013 als Einbaujahr angenommen.

Bezüglich der Nutzungsdauer konnten von keinem der befragten Betreiber Angaben gemacht werden. In allen Fällen war noch die jeweils erste Generation an Fahrtreppen verbaut, sodass noch keine Erfahrung zur Nutzungsdauer besteht. Es wird angenommen, dass die Austauschintervalle aufgrund ähnlicher Nutzungsanforderungen mit denen der Fahrtreppen in Bahnstationen vergleichbar sind. Zwar sind die Fahrtreppen in Verkehrsflughäfen witterungsgeschützt, jedoch wird angenommen, dass an sie ein höherer ästhetischer Anspruch gestellt wird. Somit wird trotz Witterungsschutz eine Nutzungsdauer μ von im Mittel 30 Jahren wie an Bahnstationen angenommen sowie eine Standardabweichung σ von 5 Jahren.

Analog der Vorgehensweise der bereits berechneten Teilmodelle ergibt sich die in Abbildung 5-67 dargestellte Verteilung der auszutauschenden Fahrtreppen. Einbaujahre nach 2015 sind nicht mehr dargestellt, da diese im betrachteten Zeitraum voraussichtlich nicht ausgetauscht werden.

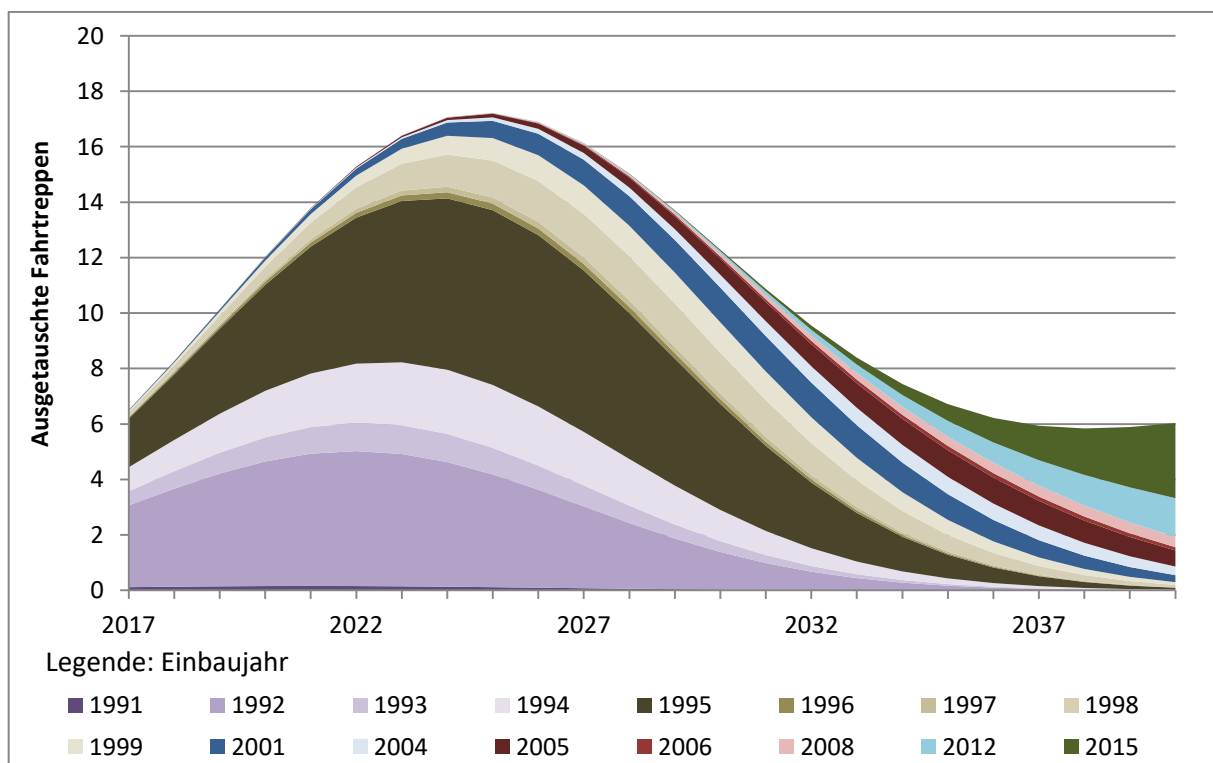


Abbildung 5-67: Annahme des zukünftigen Austauschs von Fahrtreppen zum Ende der Nutzungsdauer in Verkehrsflughäfen.

Bedingt durch eine Häufung der Fahrtreppen in den 1990er Jahren ist um 2025 mit einem verstärkten Austauschbedarf zu rechnen.

5.5.3 Rohstoffgehalte Stahl sowie Aluminium

Durch die Befragung der Betreiber konnten zu 60 der 369 Fahrtreppen Abmessungen erhalten werden. Die Mittelwerte stellen die Abmessungen der durchschnittlichen Fahrtreppe für Flughäfen dar, welche in Tabelle 5-31 aufgelistet sind.

Tabelle 5-31: Mittelwerte der Fahrtreppenabmessungen aus den Befragungsergebnissen bei Verkehrsflughäfen

Variable	Bezeichnung	Mittelwert	Bemerkung
H	Förderhöhe	5,19 m	-
g	Stufenhöhe	20 cm	einheitlich
h	Stufentiefe	40 cm	einheitlich
w	Stufenbreite	100 cm	einheitlich
α	Steigungswinkel	30°	einheitlich
l'	Hypotenuse des Förderbereichs	10,39 m	Hypotenuse des Dreiecks aus Förderhöhe, Stufen und Fahrtreppenlänge, d.h. „schräge Länge“, ermittelt aus $H / \sin \alpha$

Da in Flughäfen der Transport von Gepäckstücken auf Fahrtreppen wahrscheinlich ist, werden vorrangig Verkehrsfahrtreppen angenommen. Gestützt wird dies vom Beispiel des Flughafens München (LIFT journal 2012). Aufgrund der Einbaujahre sind nur Fahrtreppen der Altersklasse *ab 1991* zu berücksichtigen.

Die Berechnung der Rohstoffgehalte erfolgt analog zum Vorgehen in den bisherigen Teilmodellen, wobei die Ergebnisse jeweils um 30% erhöht werden, da es sich um Verkehrsfahrtreppen handelt. Die sich ergebenden Rohstoffgehalte der einzelnen Komponenten und der gesamten durchschnittlichen Fahrtreppe jeder Altersklasse sind in Tabelle 5-32 angegeben.

Tabelle 5-32: Rohstoffgehalte der durchschnittlichen Fahrtreppe in Verkehrsflughäfen

Komponente	Aluminiumgehalt in kg	Stahlgehalt in kg
Traggerüst	0	2.083,44
Stufen	1.090,91	0
Förderkette	0	487,27
Laufschienen	0	313,66
Antritts- und Kammplatten	31,32	91,36
Antriebs- und Umlenkräder	0	3.120,00
Summe	1.122,23	6.095,74

5.5.4 Treiber auf der Rohstoffebene

Für das Reparaturintervall wird analog zu dem der Fahrtreppen in Bahnstationen ein Erwartungswert μ von 15 Jahren angenommen sowie als Standardabweichung σ 2 Jahre. Die Berechnung der jährlich zu reparierenden Fahrtreppen erfolgt analog zur Ermittlung der Verteilung der auszutauschenden Fahrtreppen. Die Werte sind in Anhang A4.4 angegeben.

Die Berechnung der Rohstoffgehalte zu reparierender Komponenten erfolgt wie in den vorangegangenen Teilmodellen gezeigt. Da es sich um Verkehrsfahrtreppen handelt, wird wiederum ein Aufschlag von 30% hinzugegeben. Für die Reparatur werden somit die in Tabelle 5-33 aufgelisteten Rohstoffgehalte notwendig.

Tabelle 5-33: Rohstoffbedarf durch Reparatur von Fahrtreppen in Flughäfen

Komponente	Aluminiumgehalt in kg	Stahlgehalt in kg
1% der Stufen	10,91	0
Förderkette	0	487,27
Laufschienen	0	313,66
Summe	10,91	800,94

5.5.5 Berechnung und Ergebnisse des Materialflussteilmodells

Die Berechnung des Modells erfolgt wie bereits aus den anderen Teilmodellen bekannt, wobei wie bei den Bahnstationen direkt in der Gebäudetechnikenebene begonnen wird. Inputs und Outputs aus der Gebäudeebene werden in Fahrtreppen ausgedrückt und direkt in die Gebäudetechnikenebene integriert. Die detaillierte Berechnung ist in Anhang A5.8 dargestellt, die Kupferberechnung in Anhang A6.2.

Die zukünftigen Fahrtreppeninputs und -outputs bei Verkehrsflughäfen sind in Abbildung 5-68 dargestellt. Größtenteils werden sie durch den Austausch defekter Fahrtreppen erzeugt. Bauprojekte wie beispielsweise die angenommenen Ausbauten in den Jahren 2025, 2030 sowie 2032 erzeugen aufgrund der insgesamt eher niedrigen Flüsse sehr deutliche, zeitlich beschränkte Inputs. Ähnliches ist auch für Outputs zu erwarten, wenn Terminals langfristig abgebrochen oder derart umgebaut werden, dass die vorhandenen Fahrtreppen entfernt werden. Der angenommene Abbruch des Flughafens Münster/Osnabrück 2026 erzeugt hingegen nur einen geringen Output, da der Flughafen über vergleichsweise wenig Fahrtreppen verfügt. Das Fahrtreppenlager erfährt durch diese zeitlich beschränkten Inputs und Outputs nur in einzelnen Jahren Änderungen, wie in Abbildung 5-69 gezeigt. Dazwischen bleibt es konstant. Aufgrund der starken Inputs ist es bis 2040 insgesamt wachsend.

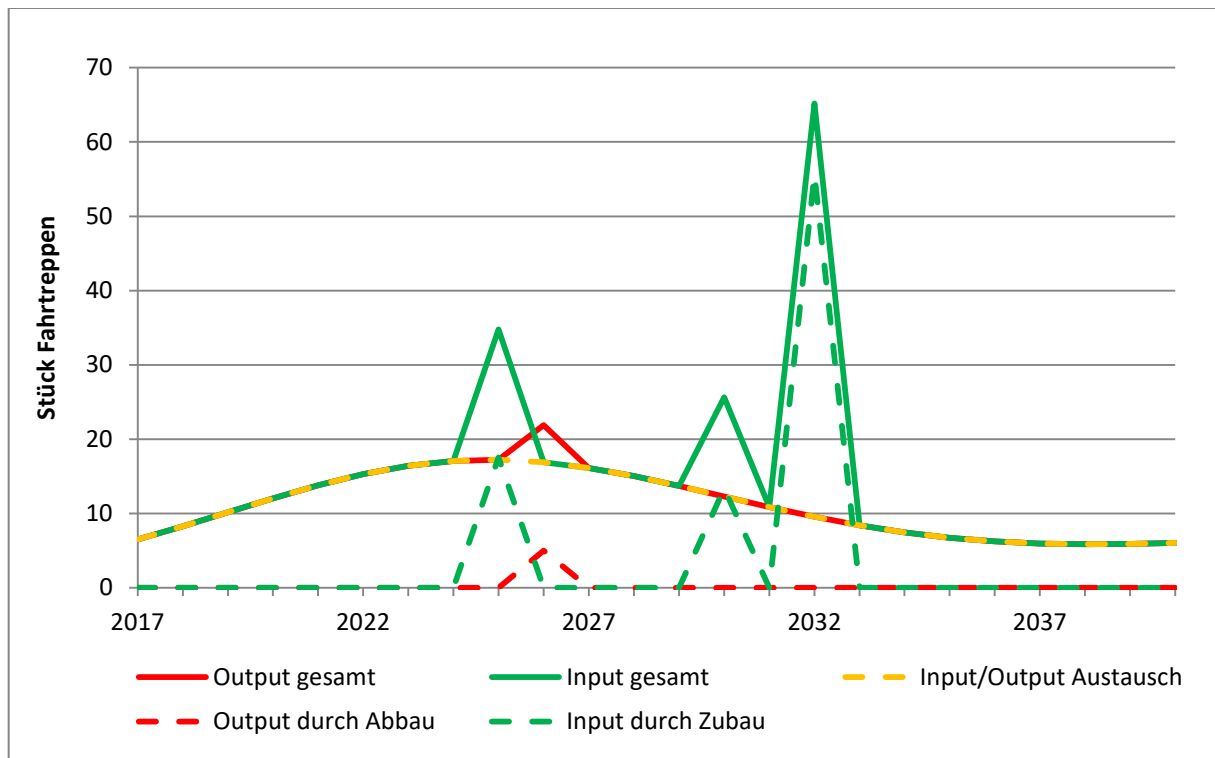


Abbildung 5-68: Fahrtreppeninputs und -outputs in Flughäfen.

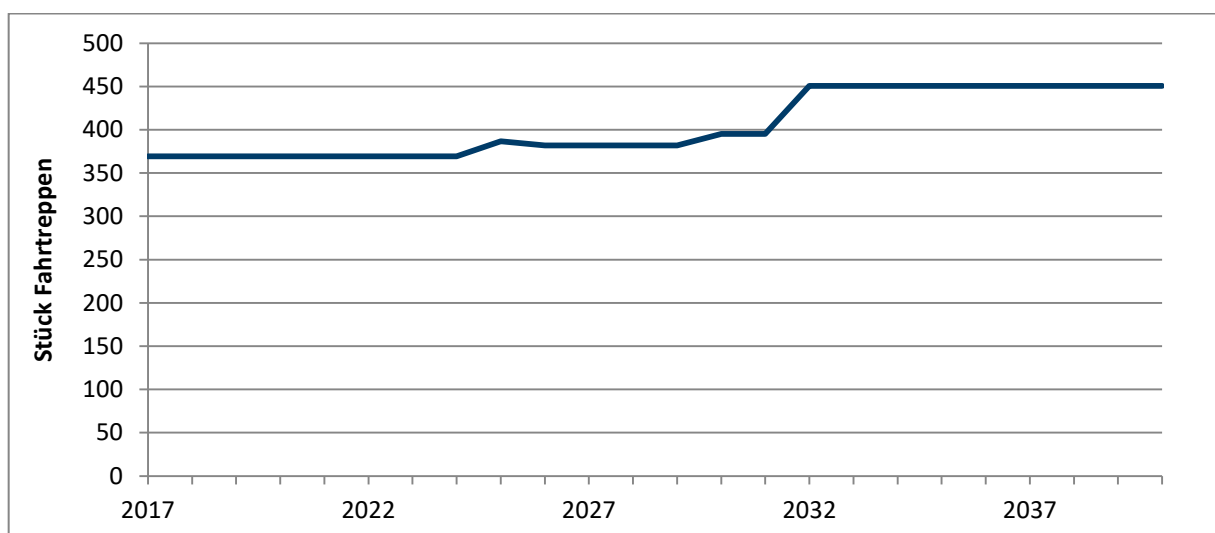


Abbildung 5-69: Entwicklung des Fahrtreppenlagers in Flughäfen.

Die in Abbildung 5-70 gezeigte Entwicklung der Inputs und Outputs der Rohstoffe Stahl sowie Aluminium erfolgt qualitativ wie die der Fahrtreppen. Da in diesem Teilmodell lediglich Fahrtreppen der Altersgruppe *ab 1991* auftreten, bleiben die Rohstoffgehalte konstant. Ebenso verhalten sich die in Abbildung 5-71 dargestellten Rohstofflager für Stahl sowie Aluminium.

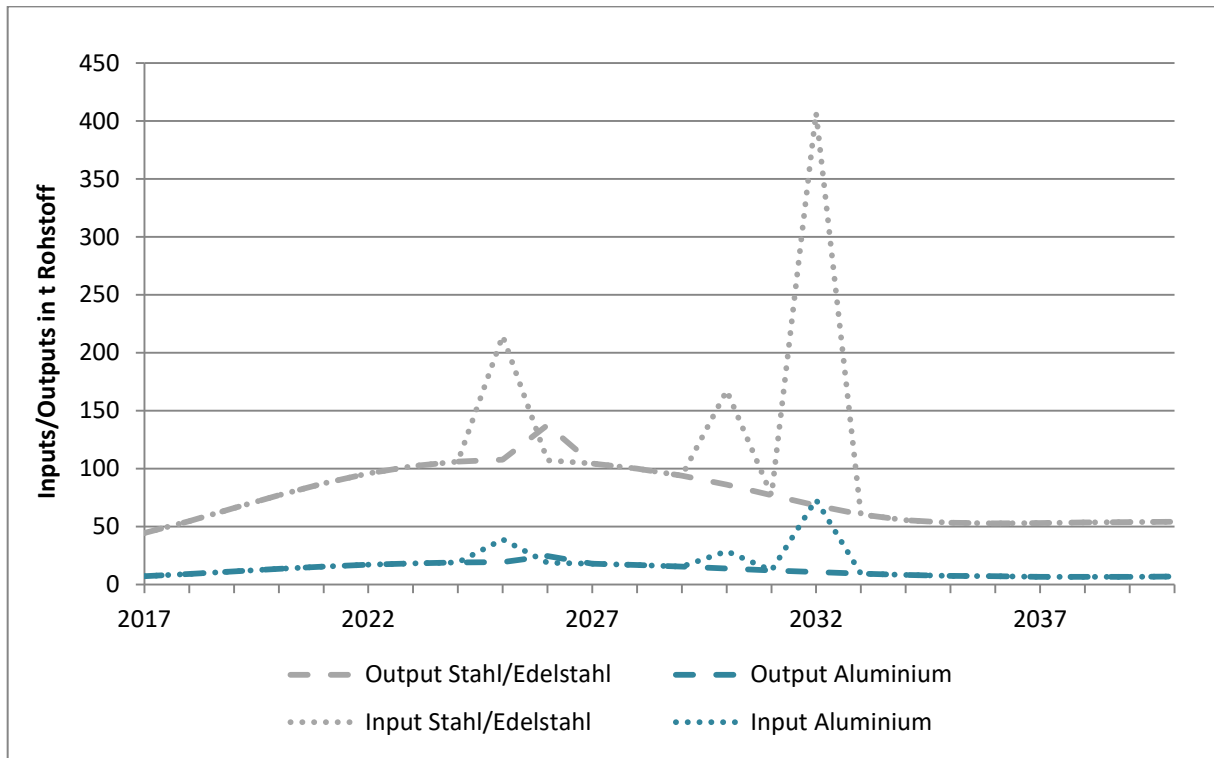


Abbildung 5-70: Rohstoffinputs und -outputs von Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen in Flughäfen.

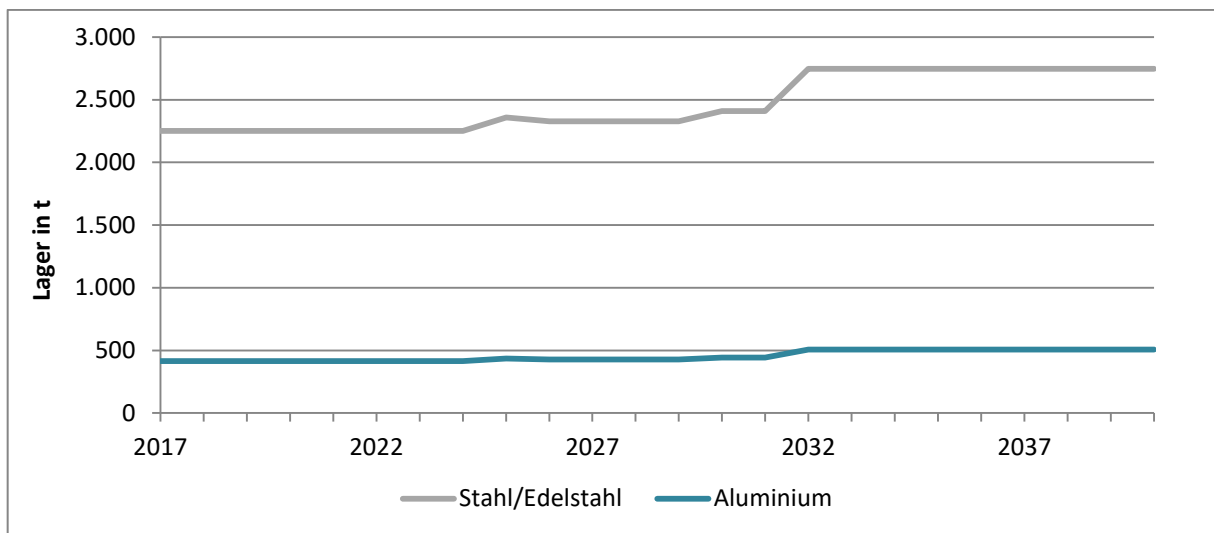


Abbildung 5-71: Entwicklung der Rohstofflager Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen in Flughäfen.

Bei Kupfer entspricht die Entwicklung sowohl der Inputs und Outputs als auch des Lagers wiederum der jeweiligen Entwicklung auf der Gebäudetechnikebene, da von einem einheitlichen Gebäudetechnikgehalt ausgegangen wird. Dies ist in Abbildung 5-72 und Abbildung 5-73 gezeigt.

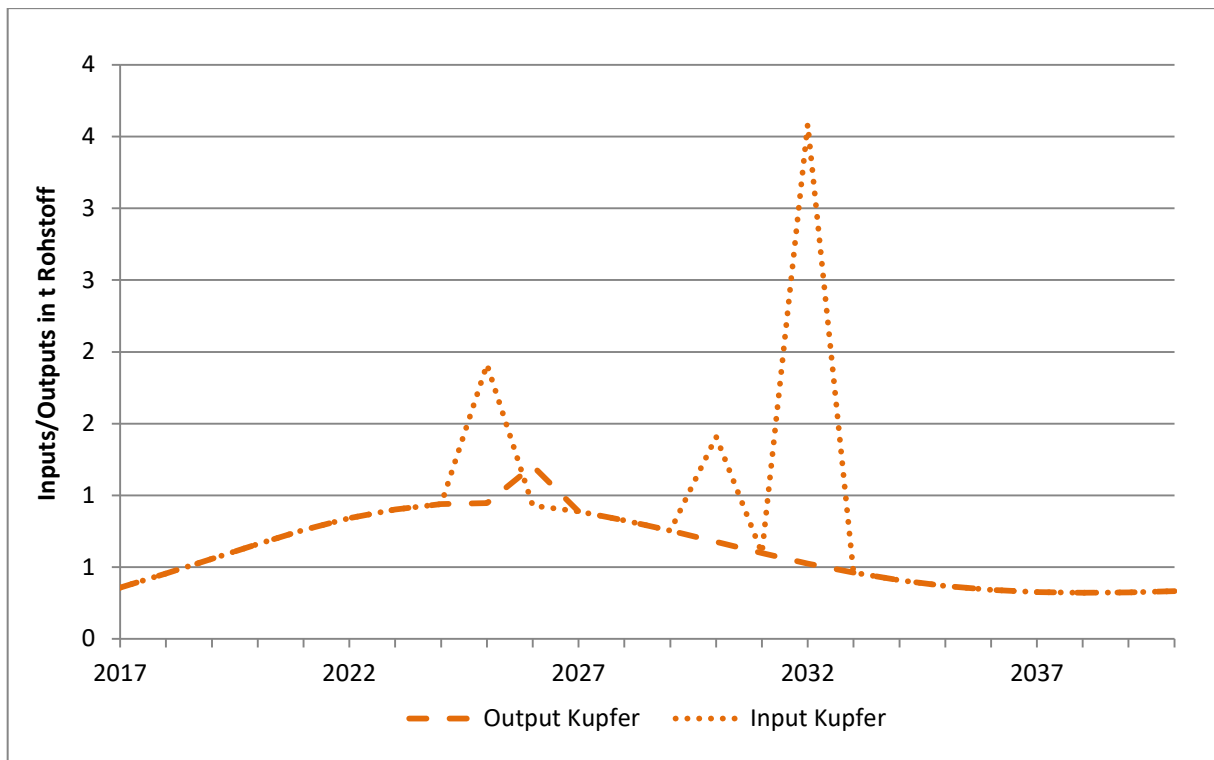


Abbildung 5-72: Rohstoffinputs und -outputs von Kupfer aus Fahrtreppen in Flughäfen.

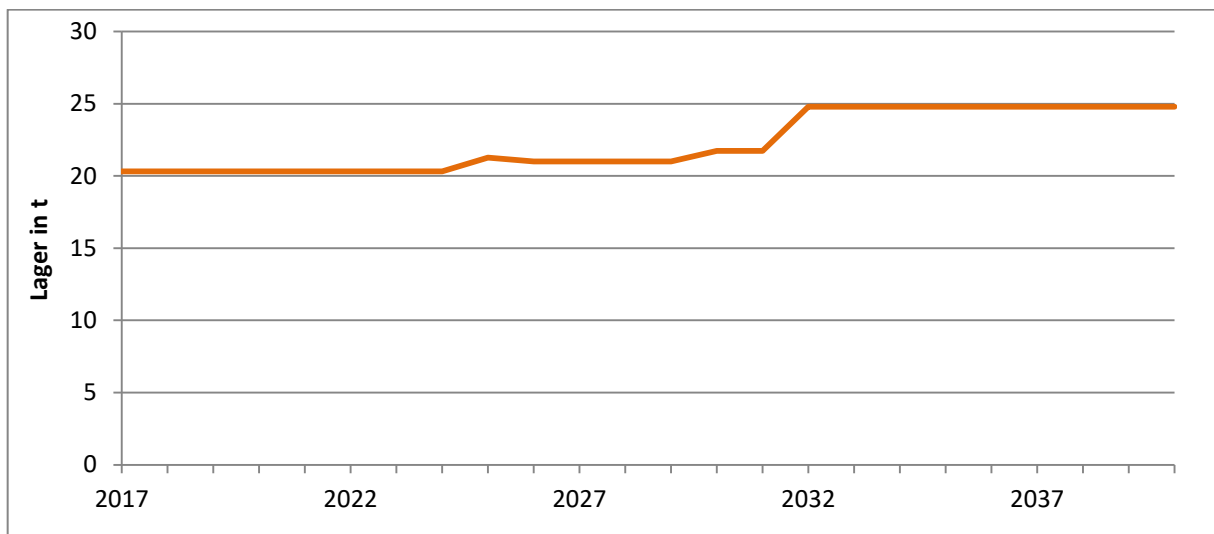


Abbildung 5-73: Entwicklung des Rohstofflagers Kupfer aus Fahrtreppen in Flughäfen.

5.6 Teilmodell Messen

Auf Messegeländen ist ebenfalls mit einem hohen Besucherstrom zu rechnen. Daher kann die Erschließung von Obergeschossen der Messehallen durch Fahrtreppen sinnvoll sein, um den Komfort der Besucher zu erhöhen und die Fortbewegung zu beschleunigen.

5.6.1 Treiber auf der Gebäudeebene

Die Nutzung einer Gebäudeebene zur Hochrechnung des Fahrtreppenlagers ist in diesem Teilmodell wie bereits bei den Verkehrsflughäfen nicht zielführend, da zum einen die Fahrtreppengehalte je m² Hallenkapazität stark schwanken und zum anderen Fahrtreppen erst ab einer bestimmten Kapazität auftreten (siehe Kapitel 5.6.2). Dennoch gibt es Treiber auf der Gebäudeebene, die Inputs und Outputs von Fahrtreppen erzeugen.

Derzeitige Investitionspläne deuten mittelfristig auf „nur leichte Zuwächse“ der Hallenkapazitäten in Deutschland hin (AUMA 2017). Im Düsseldorfer Messegelände werden 2017 in eine neue Messehalle zwei Fahrtreppen eingebaut (Hauser 2017). Die Frankfurter Messe plant zudem für 2018 den Einbau von 18 neuen Fahrtreppen für eine neue Halle (Resch 2017). Weiterhin ist der Neubau einer ebengeschossige Halle im Messegelände Berlin geplant, für welche keine Fahrtreppen angenommen werden (Messe Berlin GmbH 2017). Weitere sind nicht bekannt und werden nicht angenommen.

Im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen werden jedoch Messehallen komplett saniert oder abgebrochen und neu erbaut. Geplant ist beispielsweise für 2019/2020 der Abbruch und Neubau einer Halle der Messe Frankfurt und 2017/2018 verschiedener Hallen der Messe Essen (MESSE ESSEN GmbH 2016; Resch 2017). Die dadurch entstehenden Fahrtreppenoutputs werden ermittelt wie die Verteilungen auszutauschender Fahrtreppen vorangegangener Szenarien. Die Nutzungsdauer der Messehallen in Frankfurt ist im Mittel 40 Jahre (Resch 2017). Dies wird als Erwartungswert μ für das generelle Modernisierungsintervall von Messehallen angenommen. Als Standardabweichung σ werden 5 Jahre angenommen. Es ergibt sich die in Abbildung 5-74 dargestellte Verteilungskurve. Die von den Modernisierungen in Frankfurt und Essen betroffenen Fahrtreppen wurden dabei nicht mitberücksichtigt, da sie direkt in das Materialflussmodell integriert werden können. Einbaujahre nach 2008 wurden nicht mehr dargestellt, da sie keinen nennenswerten Output erzeugen.

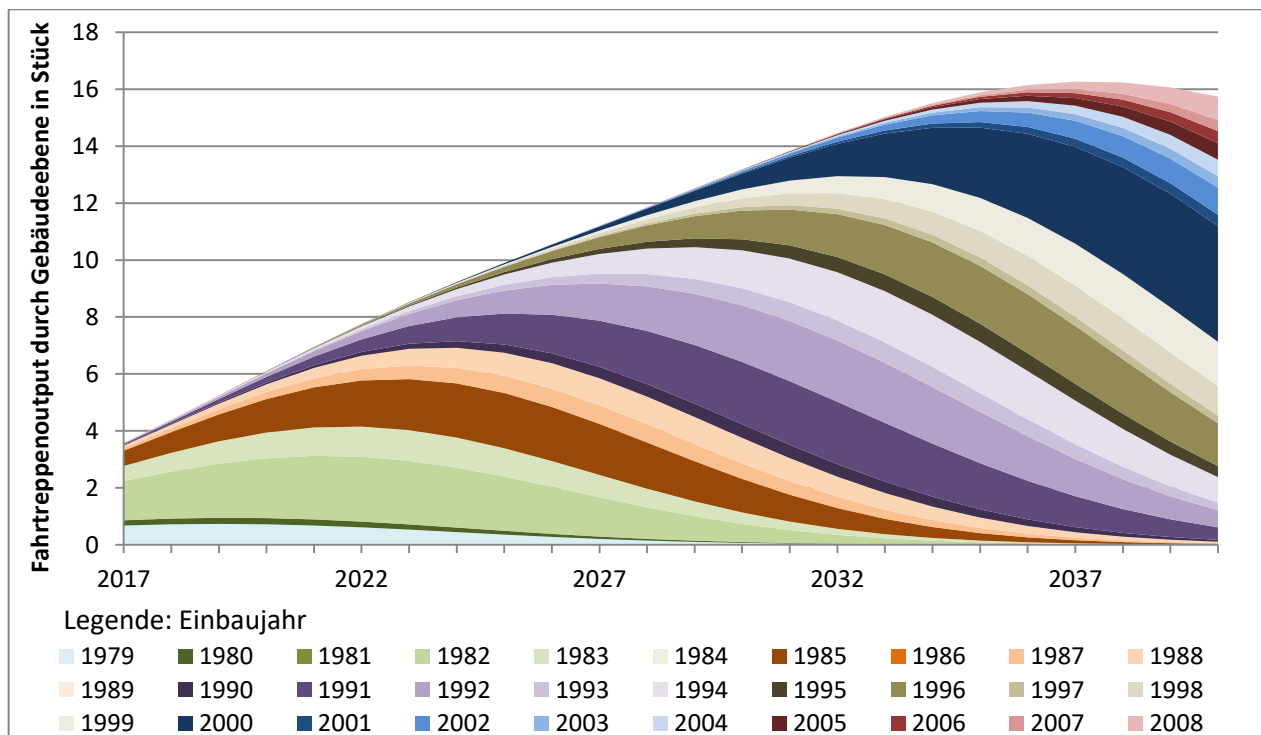


Abbildung 5-74: Fahrtreppenoutput bei Messehallen infolge von Treibern auf der Gebäudeebene.

Die Messe Düsseldorf versucht, im Zuge der Modernisierungen von Messehallen die Anzahl der Fahrtreppen zu verringern (Hauser 2017). Auch bei der Modernisierung auf dem Messegelände Essen wurden Hallen mit zwei Ebenen durch ebenerdige Hallen ersetzt. Es wird daher angenommen, dass nur im Umfang von 80% der entfernten Altgeräte neue Fahrtreppen in neue bzw. sanierte Hallen eingebaut werden. Für den Input wird aufgrund der notwendigen Bautätigkeiten eine durchschnittliche Verzögerung von einem Jahr angenommen.

5.6.2 Gebäudetechniklager und Treiber auf der Gebäudetechnikebene

Analog zum Vorgehen bei Verkehrsflughäfen wurden im Teilmodell Messen Betreiber von Messestandorten um Informationen zu Anzahl, Einbaujahren, Abmessungen und Nutzungsdauer ihrer Fahrtreppen sowie möglicher Ausbaupläne gebeten. Angeschrieben wurden die Betreiber der 23 größten Messehallenstandorte Deutschlands nach (AUMA 2017) und (m+a expodatabase 2017).

Wurde auf die Befragung nicht geantwortet, so wurde die Anzahl der Fahrtreppen aus Lageplänen auf der jeweiligen Internetseite ermittelt bzw. aus bekannten Fahrtreppengehalten vergleichbar großer Messestandorte angenommen. Eine Auflistung der ermittelten bzw. angenommenen Fahrtreppen befindet sich in Anhang A2.5. Insgesamt sind dies 539 Fahrtreppen. Der Fahrtreppengehalt in Bezug auf die Hallenkapazität ist dabei wie bereits beim Teilmodell Flughäfen teils sehr unterschiedlich. Dies kann damit begründet werden, dass einige Messegelände ausschließlich oder größtenteils ebenerdig sind und daher keine bzw. nur wenige Fahrtreppen benötigen. Bei Messestandorten mit eher geringerer Hallenkapazität sind Fahrtreppen generell unwahrscheinlich. Von acht untersuchten Messestandorten mit 52.000 m² Hallenkapazität oder darunter befinden sich lediglich an einem Standort mit 39.000 m² noch Fahrtreppen. Für alle weiteren Standorte mit niedrigerer Hallenkapazität wird daher davon ausgegangen, dass keine Fahrtreppen zu erwarten sind.

5.6.2.1 Zubau und Abbau

Zubau einzelner Fahrtreppen kann im Rahmen von Modernisierungen erfolgen, wie zum Beispiel bei der Frankfurter Messe (Frankfurter Neue Presse 2015). Da jedoch keine weiteren Anhaltspunkte auf einen systematischen Zu- oder Abbau hindeuten, wird für das Materialflussmodell kein Zu- bzw. Abbau angenommen.

5.6.2.2 Austausch der Fahrtreppen zum Ende der Nutzungsdauer

Alle auf die Anfrage antwortenden Betreiber gaben an, dass Fahrtreppen bislang nur ausgetauscht wurden, wenn die gesamte Halle komplett saniert oder abgebrochen wurde. Grund dafür ist die geringe jährliche Betriebsdauer, da die Fahrtreppen nur dann angeschaltet sind, wenn sich Besucher im jeweiligen Messebereich befinden. Es wird daher in diesem Teilmodell kein Austausch berücksichtigt, da Fahrtreppen in der Regel vor Erreichen des Endes ihrer Nutzungsdauer aufgrund von Treibern auf der Gebäudetechnikenebene entfernt werden.

5.6.3 Rohstoffgehalte Stahl sowie Aluminium

Für 430 der 539 Fahrtreppen auf Messen konnten Abmessungen bei den Betreibern erfragt werden. Ihre Mittelwerte ergeben die Abmessungen der durchschnittlichen Fahrtreppe für Messen, welche in Tabelle 5-34 aufgelistet sind.

Tabelle 5-34: Mittelwerte der Fahrtreppenabmessungen aus den Befragungsergebnissen bei Messen

Variable	Bezeichnung	Mittelwert	Bemerkung
H	Förderhöhe	4,88 m	-
g	Stufenhöhe	20 cm	einheitlich
h	Stufentiefe	40 cm	einheitlich
w	Stufenbreite	100 cm	einheitlich
α	Steigungswinkel	30°	einheitlich
l'	Hypotenuse des Förderbereichs	9,75 m	Hypotenuse des Dreiecks aus Förderhöhe, Stufen und Fahrtreppenlänge, d.h. „schräge Länge“, ermittelt aus $H / \sin \alpha$

Fahrtreppen an Messestandorten befördern in der Regel keine großen Lasten bzw. Gepäckstücke. Sie befinden sich sowohl innerhalb von Hallen als auch in Bereichen wie Überführungen und Zubringern, die zum Teil Witterungseinflüssen ausgesetzt sind. Es wird daher angenommen, dass es sich bei 80% der Fahrtreppen um Kaufhausfahrtreppen und bei 20% um Verkehrsfahrtreppen handelt. Für Verkehrsfahrtreppen wird ein Materialaufschlag von 30% hinzugerechnet.

Bei der Altersverteilung sind alle drei Altersklassen vorhanden. Die Ermittlung der in Tabelle 5-35 aufgelisteten Rohstoffgehalte erfolgt wie in den bisherigen Teilmodellen.

Tabelle 5-35: Rohstoffgehalte der durchschnittlichen Fahrtreppe in Messen

Komponente	Altersklasse					
	bis 1980		1981 - 1990		ab 1991	
	Aluminium- gehalt in kg	Stahlgehalt in kg	Aluminium- gehalt in kg	Stahlgehalt in kg	Aluminium- gehalt in kg	Stahlgehalt in kg
Traggerüst	0	1.624,46	0	1.624,46	0	1.624,46
Stufen	0	1.415,10	424,53	707,55	849,06	0
Förderkette	0	379,25	0	379,25	0	379,25
Laufschienen	0	242,62	0	242,62	0	242,62
Antritts- und Kammplatten	0	114,61	9,82	91,11	20,82	60,74
Antriebs- und Umlenkräder	0	2.544,00	0	2.544	0	2.544,00
Summe	0,00	6.320,04	434,35	5.589,00	869,88	4.851,08

5.6.4 Treiber auf der Rohstoffebene

Es wird davon ausgegangen, dass die Fahrtreppen zur Hälfte ihrer Einbauzeit eine Generalüberholung erfahren. Zwar sind die Beanspruchungen gering, da sie nicht durchgehend betrieben werden, doch hohe ästhetische Ansprüche an Messegelände und ihre Infrastruktur erfordern regelmäßige Modernisierungen der Geräte. Es wird für das Reparaturintervall ein Erwartungswert μ von 20 Jahren angenommen sowie als Standardabweichung σ 2 Jahre. Sofern nicht im Rahmen der Befragung ermittelbar, wurden die Einbaujahre anhand der Eröffnungsjahre bzw. der Jahre der letztmaligen Komplettanierung der Hallen geschätzt. Die Verteilung der Einbaujahre ist in Abbildung 5-75 dargestellt. Bis auf einzelne Jahrgänge mit besonders vielen Fahrtreppeneinbauten wie 2000 und 2008 sind sie breit gestreut.

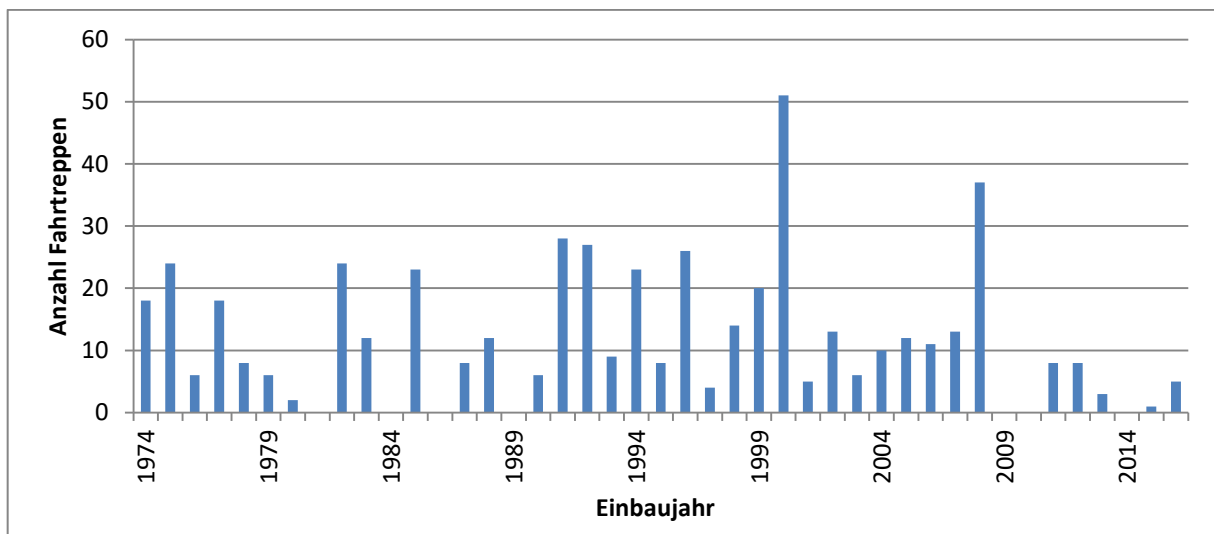


Abbildung 5-75: Einbaujahre von Fahrtreppen in Messen.

Die Berechnung der jährlich zu reparierenden Fahrtreppen erfolgt wie bei den bislang betrachteten Teilmodellen. Die Werte sind in Anhang A4.5 angegeben. Für die Berechnung der Rohstoffgehalte auszutauschender Komponenten ist nur die Altersklasse *ab 1991* relevant. Für 20% der Fahrtreppen wird ein Aufschlag von 30% hinzugegeben, um den Anteil der Geräte für den Außeneinsatz zu berücksichtigen. Es ergeben sich die in Tabelle 5-36 aufgelisteten Rohstoffgehalte für Reparaturen.

Tabelle 5-36: Rohstoffbedarf durch Reparatur von Fahrtreppen in Messen

Komponente	Altersklasse ab 1991	
	Aluminiumgehalt in kg	Stahlgehalt in kg
1% der Stufen	8,49	0,00
Förderkette	0,00	379,25
Laufschienen	0,00	242,62
Summe	8,49	621,87

5.6.5 Berechnung und Ergebnisse des Materialflussteilmodells

Die Berechnung des Modells erfolgt wie bereits aus den anderen Teilmodellen bekannt. Wie beim Teilmodell Bahnstationen und Verkehrsflughäfen wird direkt in der Gebäudetechnikebene begonnen. Inputs und Outputs aus der Gebäudeebene werden in Fahrtreppen ausgedrückt und direkt integriert. Die detaillierte Berechnung des Teilmodells ist in Anhang A5.9 dargestellt.

Inputs und Outputs von Fahrtreppen entstehen im Teilmodell Messen nur durch Veränderungen auf der Gebäudeebene, wie in Abbildung 5-76 dargestellt. Einzelne Großprojekte wie in 2018 erzeugen wie bereits beim Teilmodell Verkehrsflughäfen große Flüsse in einzelnen Jahren. Langfristig muss auch mit großen Spitzen im Output gerechnet werden, wenn Hallen mit einer großen Anzahl von Fahrtreppen abgebrochen und möglicherweise durch ebenerdige Hallen ersetzt werden. Der Input ist ansonsten bedingt durch die Annahme der Fahrtreppenreduzierung im Regelfall etwas geringer und tritt aufgrund der baulichen Verzögerung etwas später auf als der Output. Bis auf einen kurzen Anstieg infolge des hohen Inputs in 2018 sinkt daher das in Abbildung 5-77 dargestellte Fahrtreppenlager.

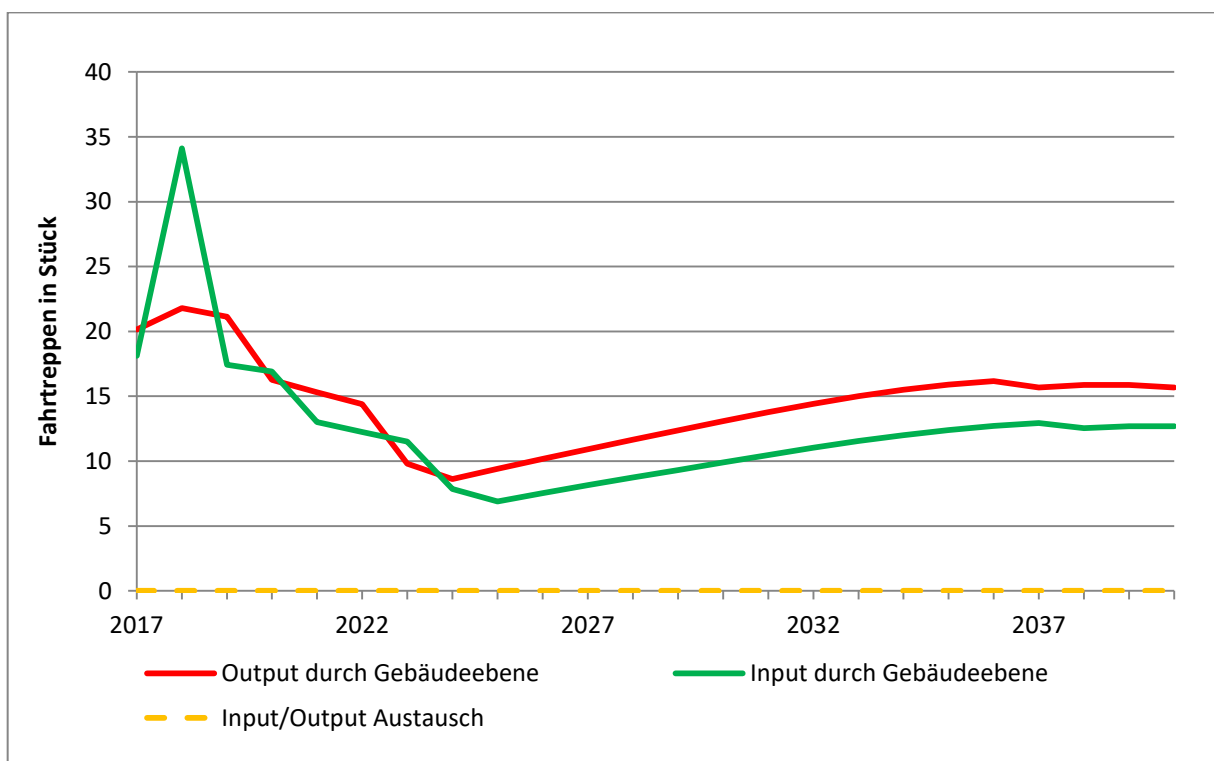


Abbildung 5-76: Fahrtreppeninputs und -outputs in Messen.

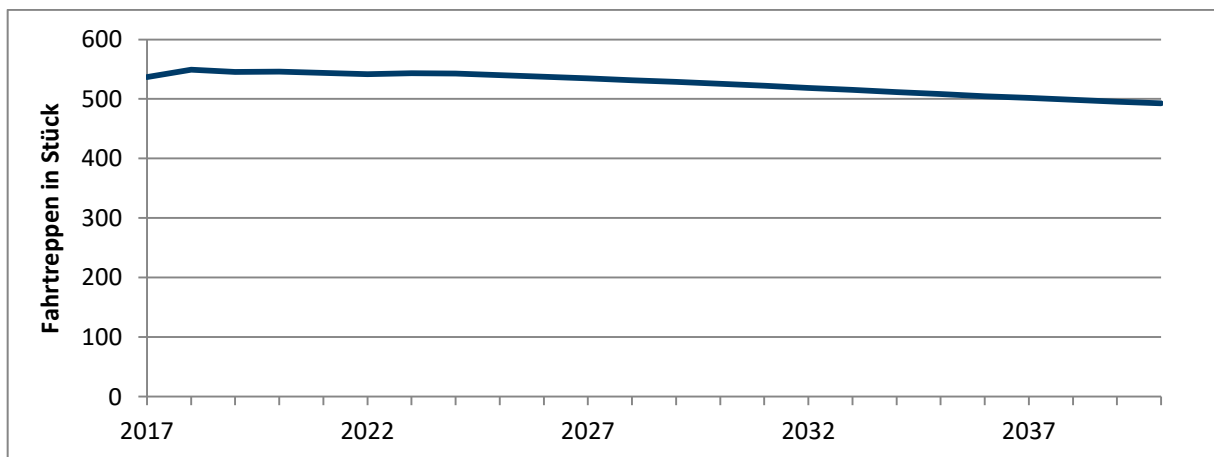


Abbildung 5-77: Entwicklung des Fahrtreppenlagers in Messen.

Die in Abbildung 5-78 dargestellte Entwicklung der Rohstoffinputs und -outputs von Stahl sowie Aluminium spiegelt die Entwicklungen der Gebäudetechnikebene wider. Sie wird jedoch durch unterschiedliche Rohstoffgehalte in den verschiedenen Altersklassen leicht verzerrt.

Analog zu anderen Teilmodellen mit verschiedenen Altersklassen befinden sich in den Fahrtreppenoutputs vor allem zu Beginn des Betrachtungszeitrahmens noch Fahrtreppen mit niedrigem Aluminiumgehalt, während die neu eingebauten Fahrtreppen deutlich höhere Gehalte besitzen. Somit wächst bis 2027 das Aluminiumlager trotz sinkender Fahrtreppenzahl zunächst noch leicht an, bevor es infolge starker Geräteoutputs dennoch sinkt. Bei Stahl verstärkt der geringere Gehalt neuer Fahrtreppen die Verringerung des Rohstofflagers, wie in Abbildung 5-79 gezeigt.

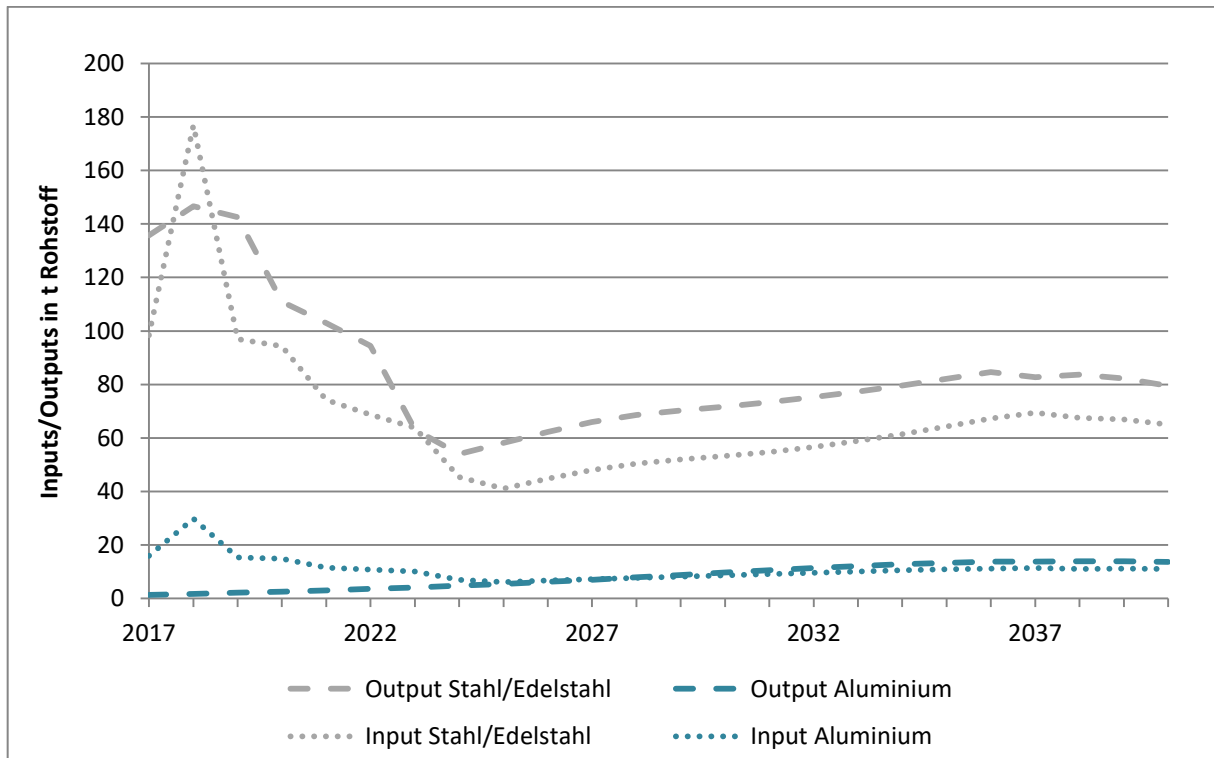


Abbildung 5-78: Rohstoffinput und -output von Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen in Messen.

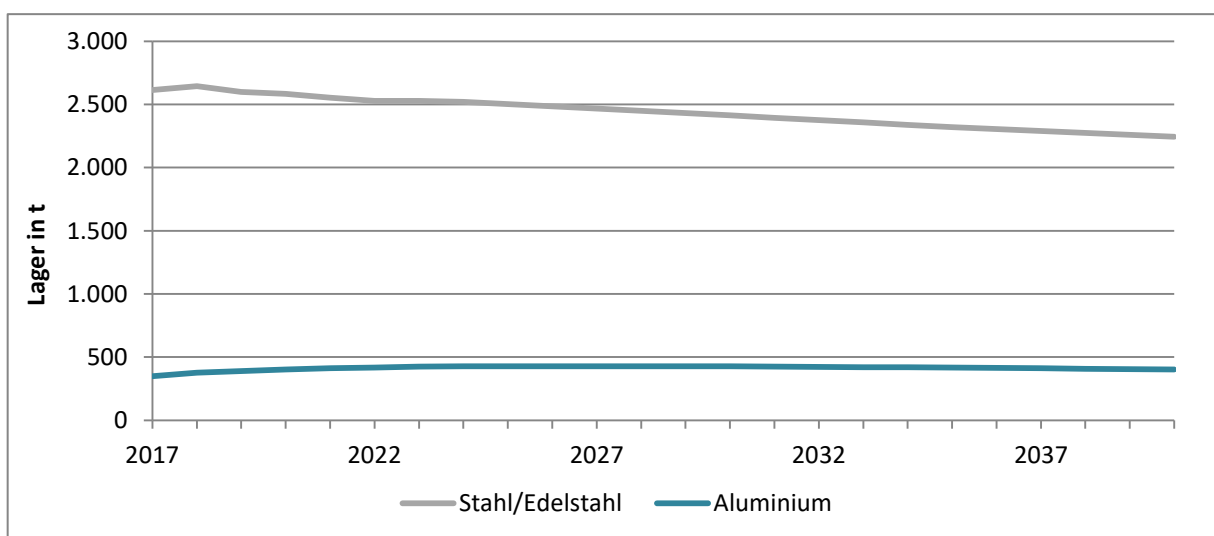


Abbildung 5-79: Entwicklung der Rohstofflager Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen in Messen.

Bei Kupfer entspricht die Entwicklung sowohl der Inputs und Outputs als auch des Lagers wiederum der jeweiligen Entwicklung auf der Gebäudetechnikebene, da von einem einheitlichen Gebäudetechnikgehalt ausgegangen wird. Dies ist in Abbildung 5-80 und Abbildung 5-81 gezeigt.

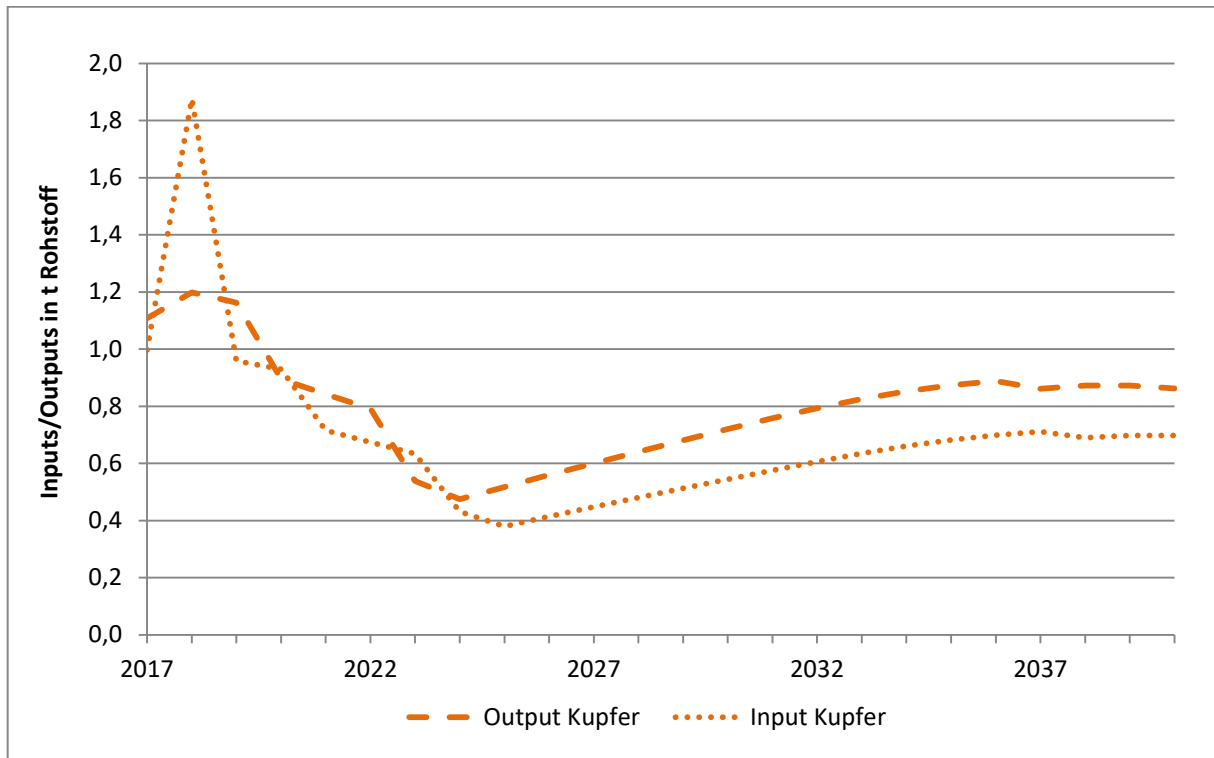


Abbildung 5-80: Rohstoffinput und -output von Kupfer aus Fahrtreppen in Messen.

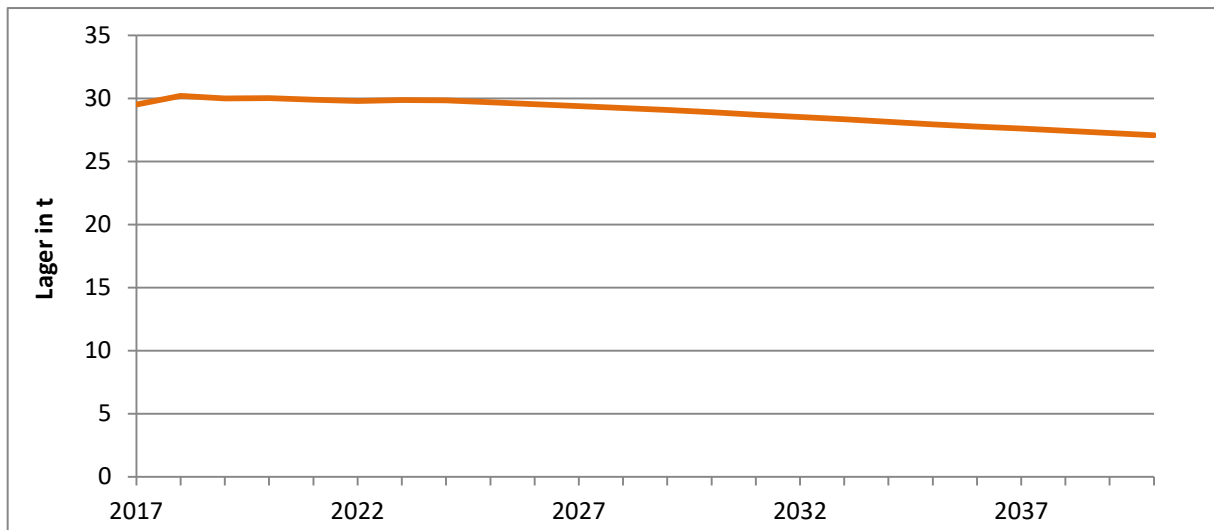


Abbildung 5-81: Entwicklung des Rohstofflagers Kupfer aus Fahrtreppen in Messen.

5.7 Weitere Einzelhandelsgeschäfte am Beispiel C&A

Für Einzelhandelsgeschäfte außerhalb von Einkaufszentren wurden explorative Gebäudeaufnahmen durchgeführt, um zu analysieren, ob eine Regelmäßigkeit für das Vorhandensein von Fahrtreppen zu erkennen und somit eine Hochrechnung aus empirisch ermittelten Daten möglich ist. Dabei wurde in den meisten Fällen beobachtet, dass sowohl das Vorhandensein von mehr als einer Verkaufsebene als auch von Fahrtreppen sehr individuell ist und keiner Regelmäßigkeit unterliegt. Sind mehrere Verkaufsebenen vorhanden, so können diese auch durch Treppen oder Aufzüge verbunden sein. Auch Ketten mit Filialen, welche in der Regel eine größere Verkaufsfläche besitzen wie beispielsweise die

Elektrofachmärkte Saturn und Mediamarkt, zeigten bei den explorativen Gebäudeaufnahmen ebenfalls verschiedene Varianten von bis zu vier Fahrtreppen pro Ebenenverbindung, ergänzt um mehrere Aufzüge bis hin zu ausschließlich Treppen. Bei einer empirischen Ermittlung des Gebäudetechnikgehalts ist das Ergebnis daher hochgradig davon abhängig, welche Gebäude aufgenommen werden. Um einen für die Gesamtheit repräsentativen Wert zu erhalten ist daher eine extrem hohe Anzahl an Stichproben erforderlich, welche einen unverhältnismäßig großen Zeitaufwand bedeuten würde. Zudem müssten aufgrund der Vielzahl der Einzelhandelsketten bzw. Geschäftstypen wiederum zahlreiche Untertypen definiert werden. Es ist daher in diesem Einsatzbereich der Fahrtreppen zielführender, von einem Top-down-Wert auszugehen, wie in Kapitel 5.8 gezeigt wird.

Bei explorativen Gebäudeaufnahmen wurde jedoch für die Filialen der Einzelhandelskette C&A festgestellt, dass diese sich hinsichtlich ihrer Bauform weitestgehend ähneln, d.h. in der Regel mehrere Verkaufsebenen vorhanden und durch Fahrtreppen verbunden sind. Daher ist zumindest für diese Gruppe eine überschlägige Hochrechnung der Fahrtreppen basierend auf einzelnen Gebäudeaufnahmen möglich. Da C&A aufgrund des Zeitaufwands prinzipiell keine Anfragen beantwortet, ist die Datengrundlage zu Filialen und Fahrtreppen sehr eingeschränkt (C&A Retail 2017). Die Abschätzung erfolgt daher mit mehr Annahmen als bei Warenhäusern und Einkaufszentren und unterliegt entsprechend stärkerer Unsicherheit. Sie zeigt jedoch, wie auch bei stark eingeschränkter Datenbasis bzw. mit wenig Zeitaufwand eine Abschätzung der Größenordnung des Gebäudetechnik- und Rohstoffbestands bzw. der In- und Outputs erzielt werden kann.

5.7.1 Gebäudebestand und Treiber auf der Gebäudeebene

Als Einheit für die Gebäudeebene kann aus Mangel an Informationen über die Verkaufsfläche, Ebenenanzahl etc. nur die Anzahl der Filialen verwendet werden. Im November 2016 existierten in Deutschland 479 Filialen (Handelsblatt 2016). Anhand der Filialliste wurden im September 2017 noch 468 Filialen ermittelt, die Anzahl geht somit zurück (C&A Mode GmbH & Co. KG 2017). Zeitungsberichte bestätigen, dass C&A Ende 2016 bekannt gab, mehrere Filialen zu schließen (Handelsblatt 2016). Im Bestand sind jedoch auch Filialen in Einkaufszentren, welche bereits in Kapitel 5.3 berücksichtigt wurden. Bei einer Filterung des für das Teilmodell Einkaufszentren genutzten Datensatzes nach C&A im September 2017 wurden 160 Treffer angezeigt. Dies entspricht etwa 34%, was auch für den Anteil der in Einkaufszentren befindlichen Filialen vom November 2016 angenommen wird. Zieht man diese ab, verbleiben 315 zu betrachtende Filialen, die für das Basisjahr 2016 angenommen werden.²⁵

Da keine genauen Angaben zur geplanten Anzahl oder dem Zeitraum der Schließungen vorliegen, müssen weitere Annahmen getroffen werden. Es wird davon ausgegangen, dass die C&A-Filialen analog der Warenhausfilialen in wirtschaftliche Perspektiven eingeordnet werden können, die die Wahrscheinlichkeit einer Schließung beeinflussen. Da sie sich bei den Gebäudeaufnahmen meist in unmittelbarer Nähe zu Warenhäusern befanden, wird mangels näherer Informationen angenommen, dass die Anteile der Filialen dieser Perspektiven dem der Verkaufsflächen von Warenhäusern entsprechen (Kapitel 5.2.2). 27% bzw. 85 der Filialen sind somit in die Perspektive *Rückzug* einzuordnen. Bei ihnen ist mit einer mittelfristigen Schließung zu rechnen. Es werden jährliche Schließungen in Höhe der Schließungen des Jahres 2017 angenommen. Die Differenz zwischen dem Basisjahr 2016 und dem 14. September 2017 beträgt 11 Filialen. Hochgerechnet auf das gesamte Jahr 2017 entspricht dies 14 zu schließenden Filialen, wovon für etwa 9 Filialen angenommen wird, dass diese außerhalb des Teilmodells Einkaufszentren liegen. Somit wird in der Annahme die letzte unwirtschaftliche Filiale 2026 geschlossen. Für Verzögerungen durch Immobilienleerstand nach Schließungen sowie für Anteile der davon abzubrechenden bzw. umzunutzenden Immobilien werden ebenfalls die Annahmen des Teilmodells Warenhäuser übernommen (Kapitel 5.2.3.2).

²⁵ Es wird angenommen, dass im Dezember 2016 aufgrund des Weihnachtsgeschäftes keine Filialen geschlossen wurden und somit der Wert vom November für das Basisjahr verwendet werden kann. In Einkaufszentren unter 10.000 m² Mietfläche gelegene Filialen sind möglicherweise weiterhin berücksichtigt, da diese Einkaufszentren nicht im Datensatz des EHI vorhanden sind.

5.7.2 Gebäudetechnikgehalt und Gebäudetechniklager

Ausgehend von neun Gebäudeaufnahmen in verschiedenen deutschen Städten wird die Anzahl der Fahrtreppen einer durchschnittlichen Filiale außerhalb von Einkaufszentren abgeschätzt. Die untersuchten Filialen sowie ihre Anzahl an Verkaufsebenen und Fahrtreppen sind in Tabelle 5-37 aufgelistet.

Tabelle 5-37: Untersuchte Filialen der Bekleidungstextilkette C&A

Nr.	Filiale	Verkaufsebenen	Anzahl Fahrtreppen	Fahrtreppen pro Ebene
1	Hannover, Georgstraße	6	11	1,8
2	Berlin Reinickendorf, Tegel	2	2	1,0
3	Hamburg, Mönckebergstraße	7	18	2,6
4	Wuppertal	4	6	1,5
5	Darmstadt	4	6	1,5
6	Berlin Charlottenburg, Wilmersdorfer Straße	2	2	1,0
7	Potsdam	2	2	1,0
8	Bad Wildungen	1	0	0,0
9	Berlin Spandau, Altstadt	4	6	1,5

Die Aufnahme zeigt, dass die Anzahl der Fahrtreppen von der Anzahl der Verkaufsebenen abhängig ist. Die Filialen besaßen zwischen einer und sieben Verkaufsebenen. In den Großstädten Hamburg und Hannover war die Ebenenanzahl mit sieben bzw. sechs besonders hoch, diese Filialen befanden sich jeweils in den Haupteinkaufsstraßen. In kleineren Städten sowie in den Berliner Bezirken sind weniger Ebenen zu verzeichnen. Der Mittelwert der Aufnahmen betrug 3,6 Verkaufsebenen bei einer Standardabweichung von 2,0. Es wird angenommen, dass dies einen repräsentativen Wert für die durchschnittliche deutsche Filiale von C&A darstellt.

In der Regel wurden je Ebenenverbindung zwei Fahrtreppen aufgefunden, zwischen dem Erdgeschoss und dem Untergeschoss bzw. ersten Obergeschoss teilweise auch mehr. Pro Verkaufsebene ergibt dies einen Mittelwert von 1,7 Fahrtreppen bei einer Standardabweichung von 0,7. Die verhältnismäßig hohe Standardabweichung wird darauf zurückgeführt, dass ein relativ hoher Anteil von ein- bzw. zweigeschossigen Filialen in der Stichprobe vorhanden war, welche deutlich weniger Fahrtreppen je Ebene aufweisen. Die durchschnittliche Filiale mit 3,6 Verkaufsebenen besitzt somit rund 5,9 Fahrtreppen. Auf den Filialbestand des Basisjahres hochgerechnet entspricht dies etwa 1.855 Fahrtreppen.

5.7.3 Treiber auf der Gebäudetechnikebene

Es wird angenommen, dass bestehende Fahrtreppen nach Ende ihrer Nutzungsdauer ausgetauscht werden. Da die in den Gebäudeaufnahmen vorgefundenen Fahrtreppen hinsichtlich ihres optischen Zustands und der Logos der Hersteller mit denen aus Warenhäusern vergleichbar waren, wird annähernd die Altersverteilung der Fahrtreppen aus Warenhäusern für die Fahrtreppen aus den C&A Filialen verwendet sowie ebenfalls eine Nutzungsdauer von 50 Jahren und eine Standardabweichung von 5 Jahren angenommen. Die Berechnung erfolgt wie am Beispiel der Warenhäuser in Kapitel 5.2.5.2 erläutert, es wird lediglich statt auf 3.061 Fahrtreppen der Warenhäuser auf 1.855 Fahrtreppen skaliert. Es ergibt sich analog die in Abbildung 5-82 dargestellte Verteilung der pro Jahr auszutauschenden Fahrtreppen. Einbaujahre nach 1999 sind nicht mehr dargestellt, da diese in der Regel noch nicht ausgetauscht werden.

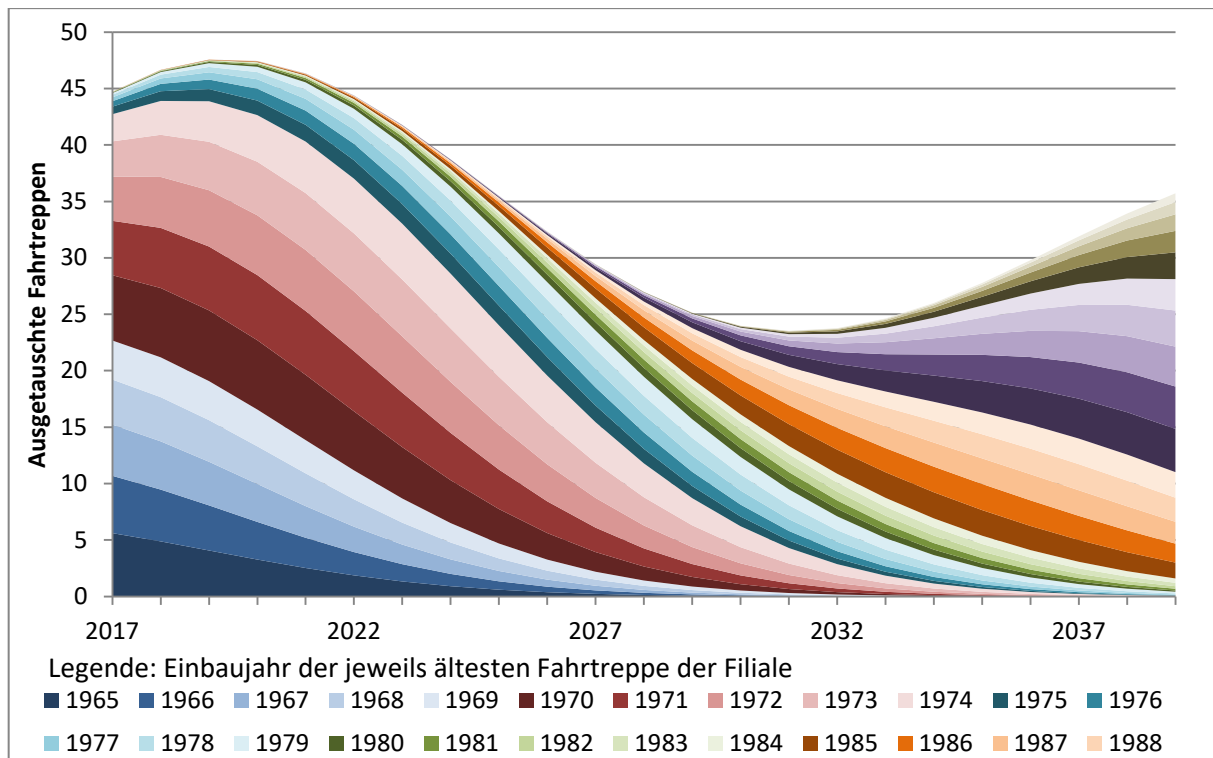


Abbildung 5-82: Annahme des zukünftigen Austauschs von Fahrtreppen zum Ende der Nutzungsdauer in C&A Filialen.

Ausgehend von der Annahme, dass die Einbaujahre der Fahrtreppen in C&A Filialen durch die der Fahrtreppen in Warenhäusern repräsentiert werden können, werden wiederum zwei Häufungen von auszutauschenden Fahrtreppen deutlich. Aktuell bereits austauschbedürftig sind Fahrtreppen der ersten Generation, welche ab den 1960er Jahren eingebaut bzw. in bestehenden Geschäften nachgerüstet wurden. Ungefähr 30 Jahre nach dieser Häufung werden dann die Fahrtreppen aus den 1990er Jahren ausgetauscht, welche teilweise schon die zweite Generation von Fahrtreppen in einem Geschäft darstellten oder im Rahmen von Neubauten hinzukamen.

5.7.4 Rohstoffgehalte Stahl sowie Aluminium

Aus den Abmessungen von 52 Fahrtreppen in C&A Filialen wurde die fiktive durchschnittliche Fahrtreppe für C&A ermittelt. Ihre Abmessungen sind in Tabelle 5-38 aufgelistet.

Tabelle 5-38: Mittelwerte der Fahrtreppenabmessungen aus der Geräteaufnahme bei C&A Filialen

Variable	Bezeichnung	Mittelwert	Bemerkung
H	Förderhöhe	4,38 m	-
g	Stufenhöhe	23 cm	einheitlich
h	Stufentiefe	40 cm	einheitlich
w	Stufenbreite	80 cm	einheitlich
α	Steigungswinkel	35°	einheitlich
l'	Hypotenuse des Förderbereichs	7,63 m	Hypotenuse des Dreiecks aus Förderhöhe, Stufen und Fahrtreppenlänge, d.h. „schräge Länge“, ermittelt aus $H / \sin \alpha$

Es handelt sich dabei wie unter anderem bei Warenhäusern und Einkaufszentren um eine Fahrtreppe für Innenräume. Sie wird zwecks Nutzung einbaujahresabhängiger Rohstoffgehalte ebenfalls in die in allen Teilmodellen genutzten drei Altersklassen unterteilt.

Die überschlägige Ermittlung der Rohstoffgehalte geschieht analog zum Vorgehen bei Warenhäusern (siehe Kapitel 5.2.6). Die sich ergebenden Rohstoffgehalte der einzelnen Komponenten und der gesamten durchschnittlichen Fahrtreppe jeder Altersklasse sind in Tabelle 5-39 angegeben. Im

Vergleich zu den Rohstoffgehalten der Fahrtreppen in Warenhäusern sind diese trotz sehr ähnlicher Förderhöhe etwas niedriger, was auf die geringere Breite der Fahrtreppe zurückzuführen ist.

Tabelle 5-39: Aufsummierung der Rohstoffgehalte der verschiedenen Komponenten der durchschnittlichen Fahrtreppe einer C&A Filiale

Komponente	Altersklasse					
	bis 1980		1981 - 1990		ab 1991	
	Aluminium- gehalt in kg	Stahlgehalt in kg	Aluminium- gehalt in kg	Stahlgehalt in kg	Aluminium- gehalt in kg	Stahlgehalt in kg
Traggerüst	0	1.296,89	0	1.296,89	0	1.296,89
Stufen	0	953,05	280,31	476,52	560,62	0
Förderkette	0	300,49	0	300,49	0	300,49
Laufschienen	0	187,62	0	187,62	0	187,62
Antritts- und Kammplatten	0	108,12	9,27	81,09	18,53	54,06
Antriebs- und Umlenkräder	0	2.400,00	0	2.400,00	0	2.400,00
Summe	0,00	5.246,16	289,57	4.742,61	579,15	4.239,06

5.7.5 Treiber auf der Rohstoffebene

Für Reparaturen werden Annahmen und Berechnungen analog zu den Reparaturen von Fahrtreppen in Warenhäusern durchgeführt (Kapitel 5.2.7). Für die Reparatur nach ca. 25 Jahren Nutzungsdauer werden somit die in Tabelle 5-40 aufgelisteten Rohstoffgehalte notwendig.

Tabelle 5-40: Rohstoffbedarf durch Reparatur von Fahrtreppen in C&A Filialen

Komponente	Altersklasse					
	bis 1980		1981 - 1990		ab 1991	
	Aluminium- gehalt in kg	Stahlgehalt in kg	Aluminium- gehalt in kg	Stahlgehalt in kg	Aluminium- gehalt in kg	Stahlgehalt in kg
1% der Stufen	0	11,17	3,35	5,59	6,70	0,00
Förderkette	0	301,85	0,00	301,85	0,00	301,85
Laufschienen	0	188,37	0,00	188,37	0,00	188,37
Summe	0,00	501,39	3,35	495,81	6,70	490,22

Die Anzahl der jährlich zu reparierenden Fahrtreppen ist in Anhang A4.6 beigefügt.

5.7.6 Berechnung und Ergebnisse des Materialflussteilmodells

Die Berechnung des Modells erfolgt wie bereits aus den anderen Teilmodellen bekannt. Leerstand geschlossener Filialen wird dabei wie im Teilmodell Warenhäuser mittels Verzögerung der Berücksichtigung der Gebäudeoutputs modelliert. Die detaillierte Berechnung ist in Anhang A5.10 dargestellt, die Kupferberechnung in A6.2.

Bei der Entwicklung der Gebäudeinputs und -outputs der Kette C&A werden aufgrund der Eingangsannahmen lediglich Outputs verzeichnet, wie in Abbildung 5-83 dargestellt. Dadurch verringert sich das Gebäudelager wie in Abbildung 5-84 gezeigt bis zu dem Punkt, an dem alle unwirtschaftlich arbeitenden Filialen geschlossen und entweder abgebrochen oder umgenutzt wurden.

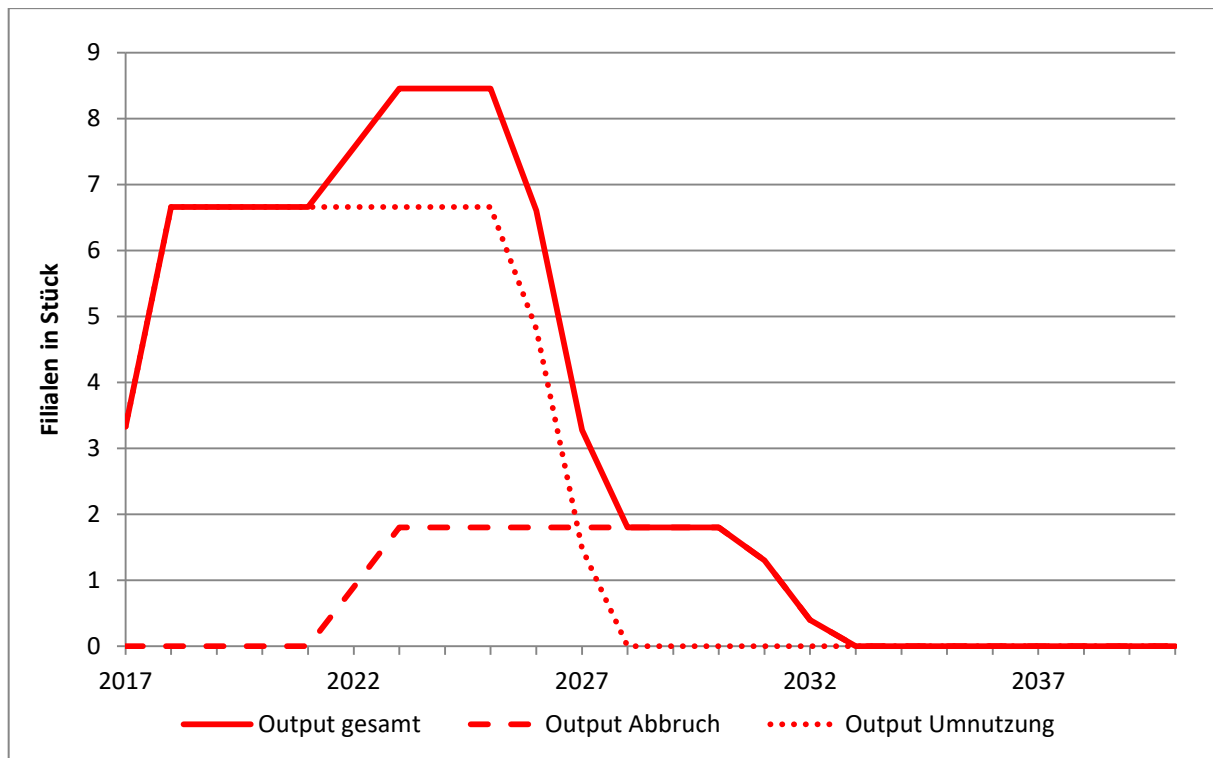


Abbildung 5-83: Gebäudeinputs und -outputs der Kette C&A in Deutschland außerhalb von Einkaufszentren.

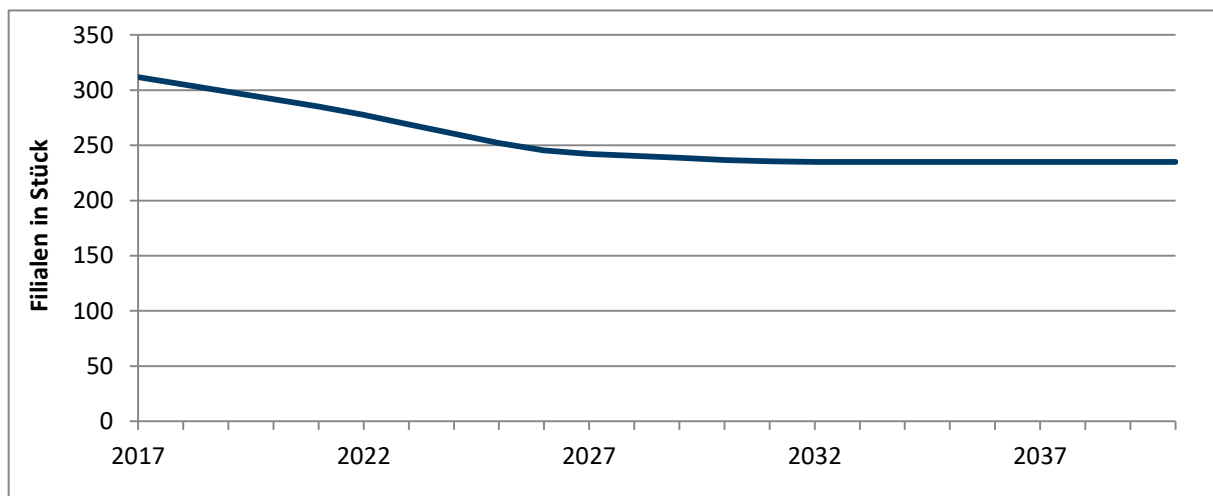


Abbildung 5-84: Entwicklung des Gebäudelagers der Kette C&A in Deutschland außerhalb von Einkaufszentren.

Die Entwicklung der Fahrtreppeneinputs und -outputs ist in Abbildung 5-85 dargestellt. Der Output entspricht dabei qualitativ dem der Gebäudeebene, welcher durch den Austausch von Fahrtreppen am Ende ihrer Nutzungsdauer ergänzt wird. Inputs kommen nur aufgrund von Fahrtreppenaustausch zustande. Da wie bereits in anderen Teilmodellen davon ausgegangen wird, dass bei mittelfristig zu schließenden Filialen kein Austausch mehr stattfindet, wurde für Fahrtreppen der Altersklasse *bis 1980* der Fahrtreppeneoutput durch Gebäudeoutputs vom Output durch Austausch abgezogen (Kapitel 5.2.8). Dadurch entsteht für die In- und Outputs durch Austausch eine Entwicklung, welche nicht der in Abbildung 5-82 auf Seite 143 dargestellten Verteilungskurve für Fahrtreppenaustausch entspricht. Ab 2033 ist ein Anstieg durch Austausch zu erkennen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ab diesem Zeitraum die Fahrtreppen der Altersgruppen *1981 bis 1990* und *ab 1991* verstärkt ausgetauscht werden müssen.

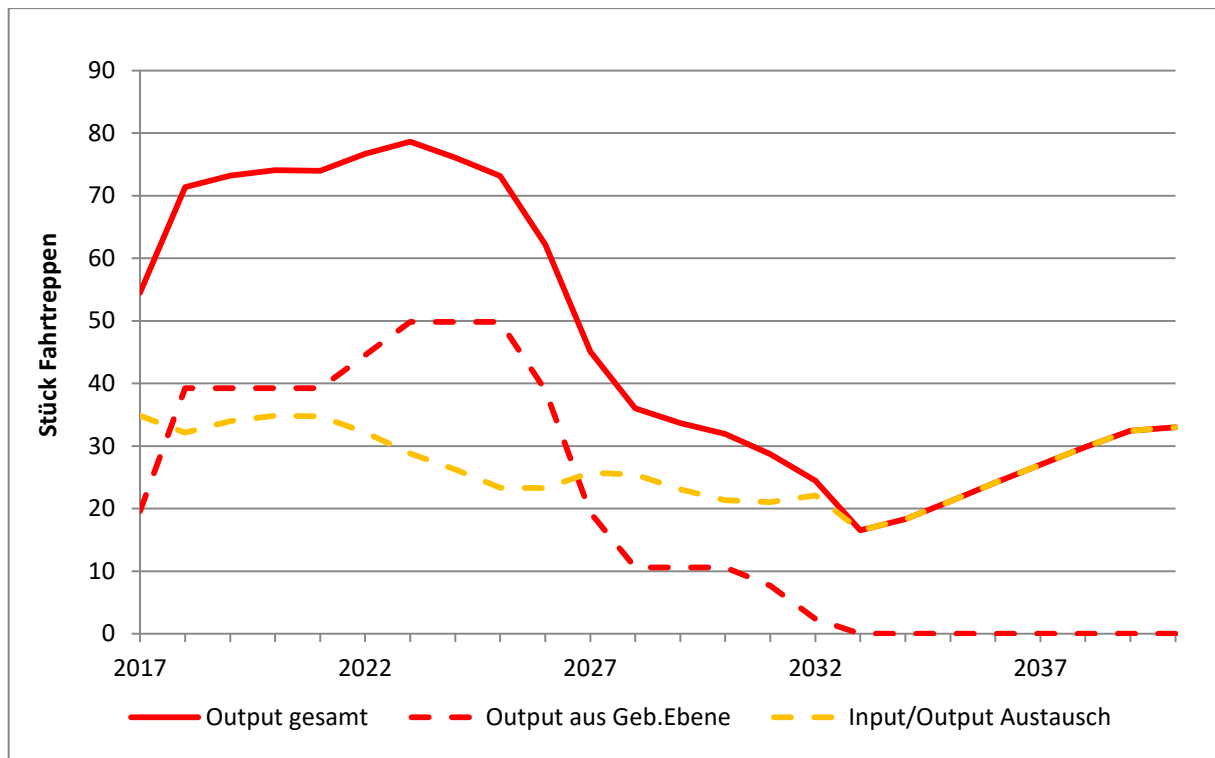


Abbildung 5-85: Fahrtreppeninputs und -outputs der Kette C&A in Deutschland außerhalb von Einkaufszentren.

Da die Bilanz der Fahrtreppeninputs und -outputs negativ ist, entwickelt sich das Fahrtreppenlager analog zur Gebäudeebene zurück, wie in Abbildung 5-86 dargestellt.

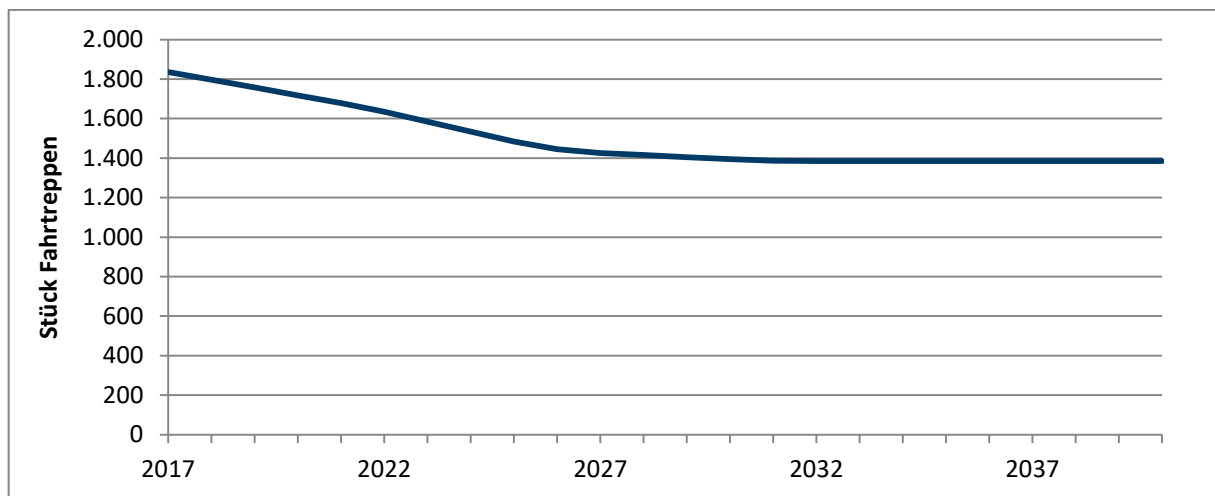


Abbildung 5-86: Entwicklung des Fahrtreppenlagers der Kette C&A in Deutschland außerhalb von Einkaufszentren.

Die in Abbildung 5-87 dargestellten Stahlinputs und -outputs erfolgen qualitativ ähnlich den Flüssen auf der Gebäudetechnikebene. Bei den Aluminiumoutputs ist zwischen 2021 und 2026 eine schwache Häufung zu erkennen, die auf die in dieser Zeit hohen Outputs auf der Gebäudeebene zurückzuführen ist, sowie ein leichter Anstieg infolge des steigenden Austauschs ab 2033.

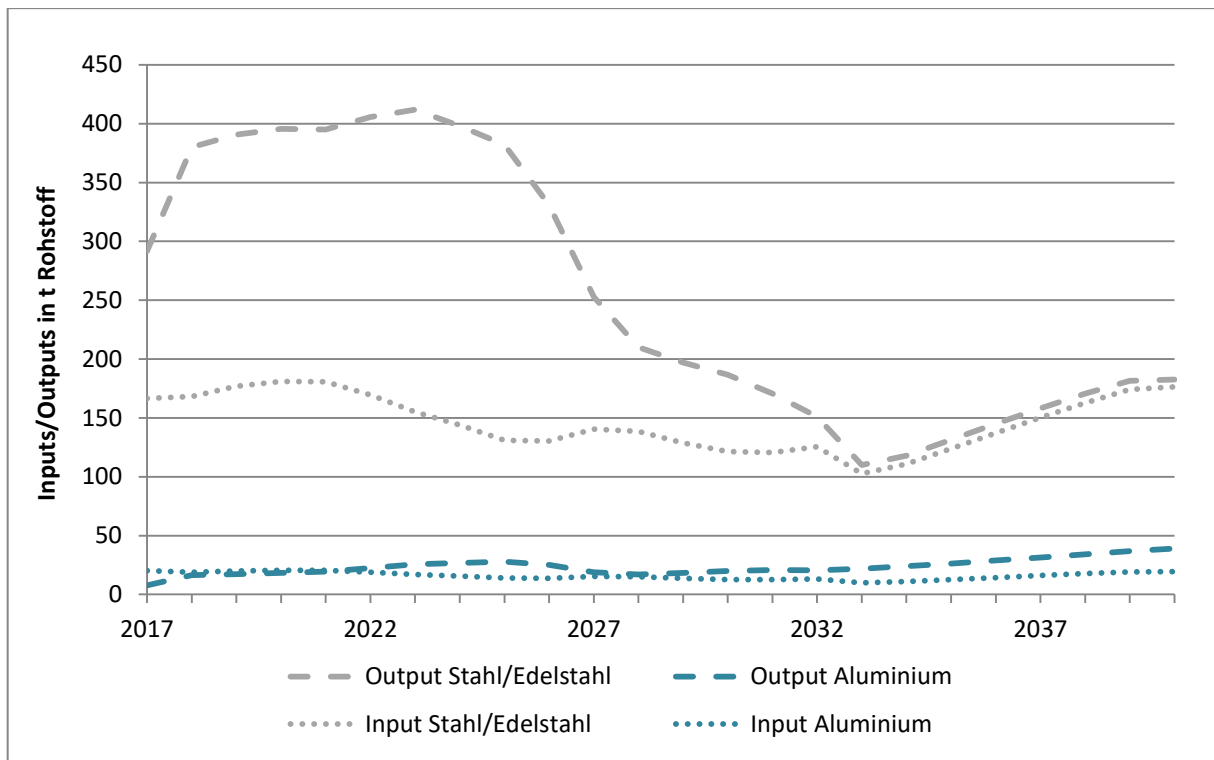


Abbildung 5-87: Rohstoffinputs und -outputs von Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen der Kette C&A außerhalb von Einkaufszentren.

Die sich aus diesen Flüssen ergebende, in Abbildung 5-88 dargestellte Entwicklung der Rohstofflager zeigt, dass das Stahllager zunächst analog zur Lagerentwicklung auf der Gebäude- und der Gebäudetechnikenebene sinkt und sich schließlich stabilisiert. Das Aluminiumlager hingegen bleibt trotz Verringerung der Fahrtreppenzahl ungefähr konstant. Dies ist auf den Input modernerer Fahrtreppen mit höherem Aluminiumgehalt zurückzuführen, welcher die Aluminiumoutputs infolge der Fahrtreppenreduzierung größtenteils ausgleicht.

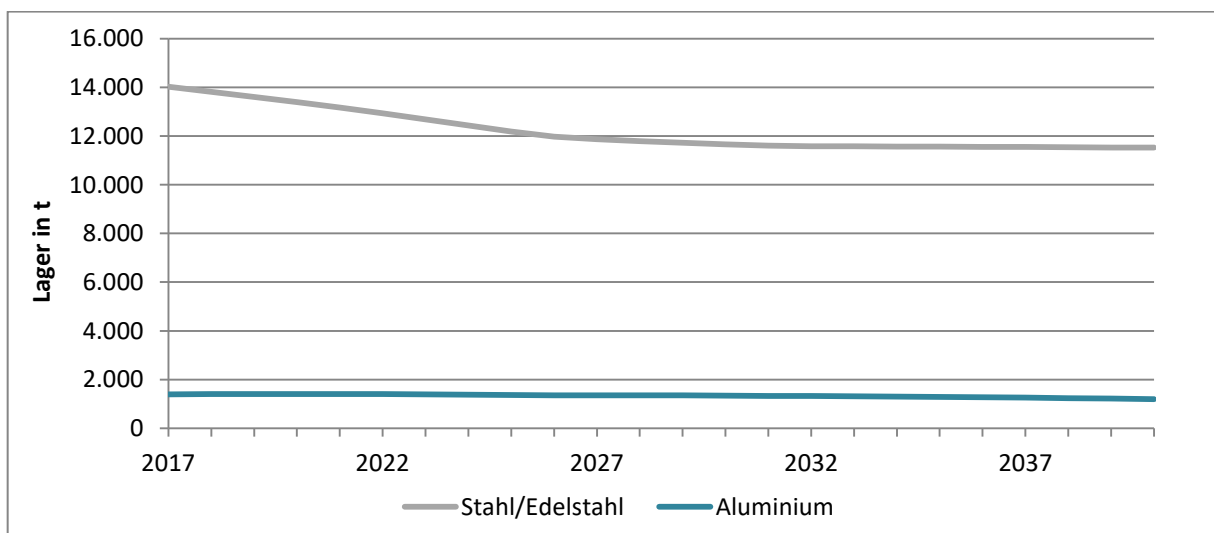


Abbildung 5-88: Entwicklung der Rohstofflager Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen der Kette C&A außerhalb von Einkaufszentren.

Bei Kupfer entspricht die Entwicklung sowohl der Inputs und Outputs als auch des Lagers wiederum der jeweiligen Entwicklung auf der Gebäudetechnikebene, da von einem einheitlichen Gebäudetechnikgehalt ausgegangen wird. Dies ist in Abbildung 5-89 und Abbildung 5-90 gezeigt.

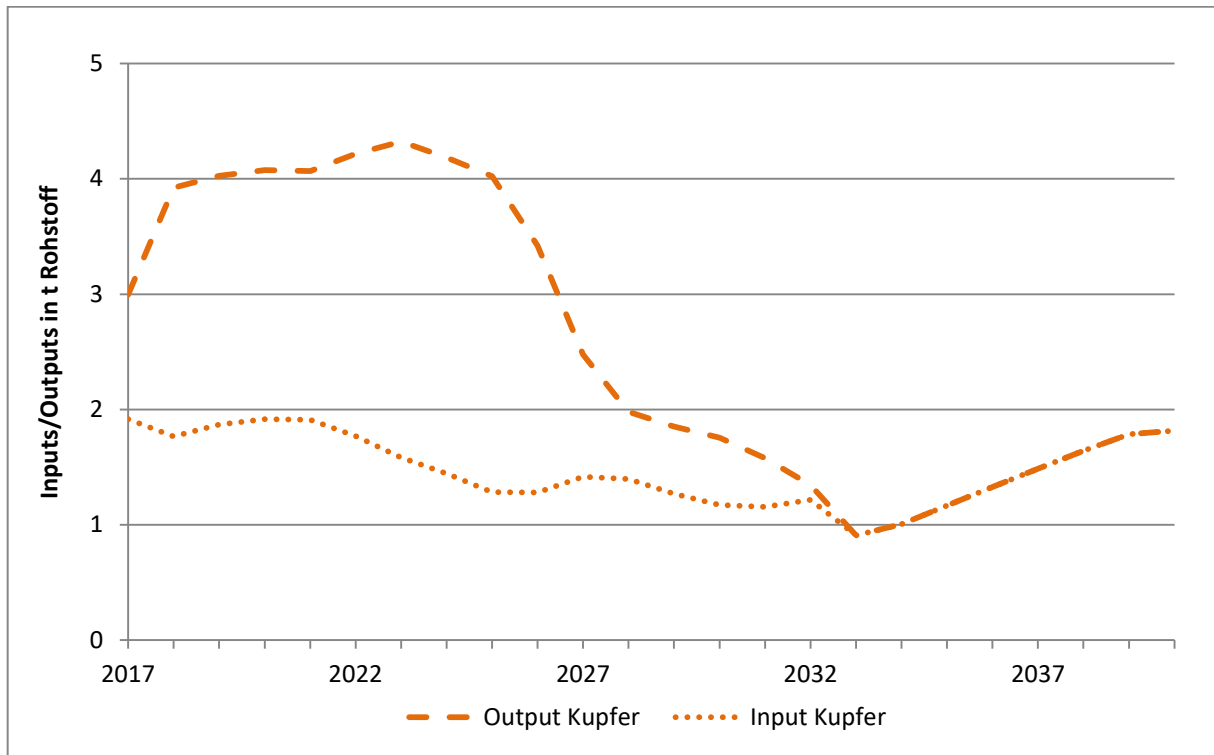


Abbildung 5-89: Rohstoffinputs und -outputs von Kupfer aus Fahrtreppen der Kette C&A außerhalb von Einkaufszentren.

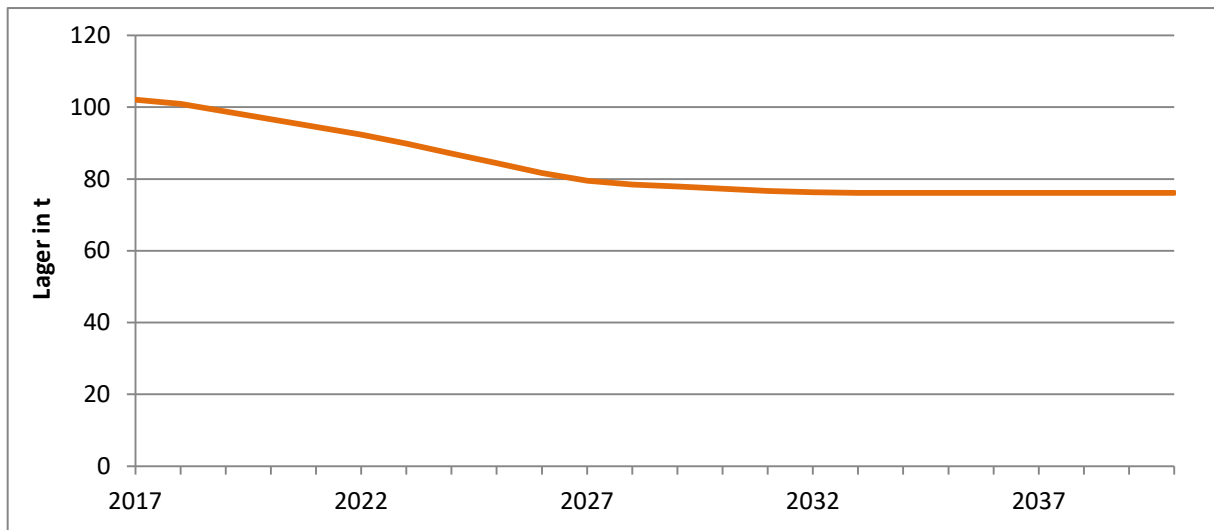


Abbildung 5-90: Entwicklung des Rohstofflagers Kupfer aus Fahrtreppen der Kette C&A außerhalb von Einkaufszentren.

5.8 Zusammenführung und Vervollständigung der Hochrechnung für Deutschland

Es ist davon auszugehen, dass mithilfe der Teilmodelle noch nicht alle Fahrtreppen Deutschlands erfasst wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Vorkommen von Fahrtreppen an Einsatzorten wie beispielsweise Fußgängerüberführungen oder auch in Einzelhandelsgeschäften keiner erkennbaren Systematik folgt und ihre empirische Ermittlung extrem zeitaufwendig und unsicher ist (Kapitel 5.1.1 sowie 5.7). Mithilfe eines Schätzwerts für die Gesamtanzahl der Fahrtreppen in Deutschland können diese dennoch abgeschätzt und in die Hochrechnung integriert werden.

5.8.1 Gebäudetechniklager der Fahrtreppen

Um einen Wert zur Gesamtanzahl aller Fahrtreppen in Deutschland zu erhalten, wurden die nachfolgenden drei Möglichkeiten untersucht.

- **Ermittlung der jährlich überprüften Fahrtreppen**

Für überwachungsbedürftige Anlagen der Gebäudetechnik, die an zentralen Stellen registriert sind, kann die aktuell gemeldete Anzahl abgefragt werden. Für Fahrtreppen sind zwar im Rahmen der Betriebssicherheitsverordnung regelmäßige Prüfungen durchzuführen, sie zählen jedoch nicht als überwachungsbedürftig. Das bedeutet, dass die Prüfungen nicht nur durch eine zugelassene Überwachungsstelle wie den TÜV, sondern auch durch „sachkundige Personen“ durchgeführt werden können (BetrSichV, vom 29.03.2017). Es ergibt sich somit eine nicht überschaubare Menge prüfender Personen sowie Unternehmen, zudem wird die Anzahl der geprüften Fahrtreppen als vertrauliche Unternehmensinformation betrachtet (Theisen 2017). Dieses Vorgehen ist somit nicht zielführend.

- **Ermittlung aus der Auftragsstatistik**

Ist die Anzahl der durchschnittlichen jährlichen Neuinstallationen bekannt, so kann mittels der durchschnittlichen Nutzungsdauer des Geräts eine Hochrechnung der Gesamtzahl erfolgen. Als durchschnittliche Nutzungsdauer der Fahrtreppen aller Gebäudetypen wird ein gewichteter Mittelwert der in den Teilmodellen angenommenen Nutzungsdauern verwendet. Dieser beträgt 37 Jahre.

Der vdma gibt einen jährlichen Durchschnitt von 800 Neuinstallationen an (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. 2014). Dieser Wert ist aufgrund eher rückläufiger Auftragseingänge in den vergangenen Jahren als veraltet zu werten (Gemici-Loukas 2017b). Für die Jahre 2010 bis 2016 wurden im Mittel jährlich nur knapp 600 Fahrtreppen in Auftrag gegeben (Gemici-Loukas 2017a). Dies entspricht etwa 95% der in Deutschland verbauten Fahrtreppen, da zusätzlich ein geringer Teil aus dem Ausland importiert wird, welcher darin nicht erfasst ist (Gemici-Loukas 2017b).

Unter Verwendung der Durchschnittswerte von 600 Fahrtreppen pro Jahr zwischen 2010 und 2016 sowie 800 Fahrtreppen für die Jahre davor und mit einem Aufschlag von 5% ergibt sich, multipliziert mit der durchschnittlichen Nutzungsdauer, ein geschätztes Fahrtreppenlager von knapp 30.000 Fahrtreppen. Dieser Wert ist aufgrund der erwähnten Unsicherheiten des durchschnittlichen Auftragseinganges zu hinterfragen, bietet jedoch zunächst eine Größenordnung zur Orientierung.

- **Literaturrecherche zu bestehenden Schätzungen**

Die Literaturrecherche ergab einen Wert von 35.000 Fahrtreppen in Deutschland durch den vdma (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. 2014). Dieser Wert entstand als gemeinsame Schätzung der im vdma vertretenen Hersteller (Gemici-Loukas 2017b). Er wird in verschiedenen Studien zitiert sowie in Statistiken angegeben (u.a. Dispan 2015; statista 2017a). Es wird angenommen, dass sich die Anzahl der Fahrtreppen zwischen der Schätzung im Jahr 2014 und dem Basisjahr 2016 nicht wesentlich geändert hat.

Es konnten somit zwei Schätzungen zur Gesamtmenge der Fahrtreppen in Deutschland ermittelt werden, 30.000 Stück aus einer Hochrechnung der Auftragsstatistik sowie 35.000 aus einer Expertenschätzung. Es wird davon ausgegangen, dass sich der reale Bestand in einer Größenordnung zwischen diesen beiden Schätzungen befindet. Somit wird 30.000 als Minimum und 35.000 als Maximum angenommen.

Die im Basisjahr 2016 insgesamt 14.169 Fahrtreppen der Teilmodelle entsprechen somit im Fall des Gesamtlagers von 30.000 Fahrtreppen (im Folgenden: MIN-Annahme) 47% aller Fahrtreppen Deutschlands und im Falle des Gesamtlagers von 35.000 Fahrtreppen (nachfolgend: MAX-Annahme) 40%. Der Anteil der jeweiligen Teilmodelle am gesamten Fahrtreppenlager beider Annahmen ist in Abbildung 5-91 dargestellt. Die Gruppe der durch die Teilmodelle nicht erfassten Fahrtreppen wird „unbekannt“ genannt.

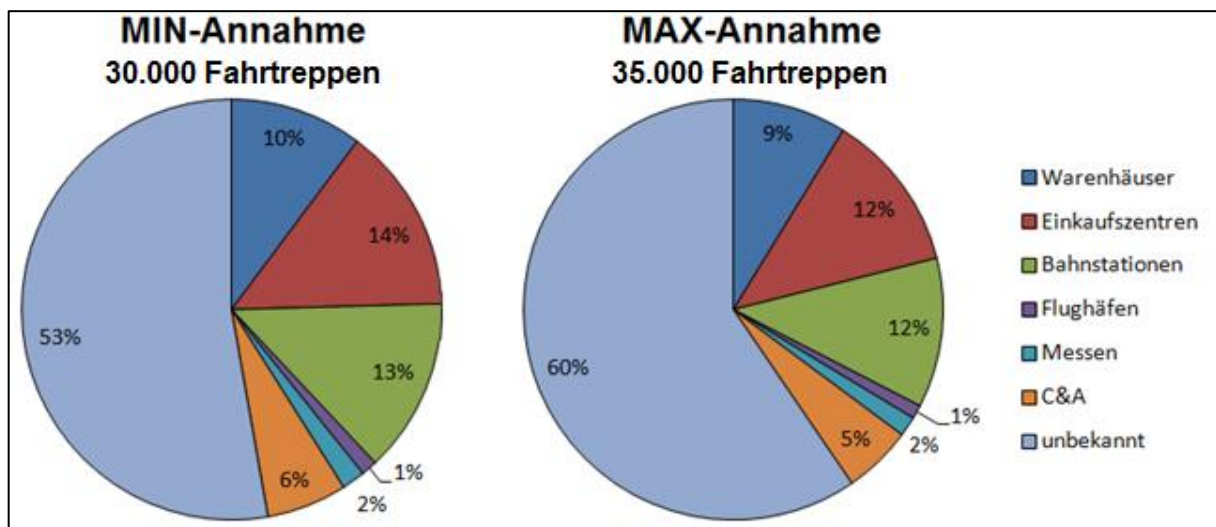


Abbildung 5-91: Anteil der Teilmodelle und der nicht erfassten Fahrtreppen (unbekannt) am gesamten Fahrtreppenlager Deutschlands bei MIN-Annahme (30.000 Fahrtreppen) und MAX-Annahme (35.500 Fahrtreppen).

5.8.2 Entwicklung der Fahrtreppeninputs und -outputs

Der Anteil der unbekannten Fahrtreppen an den Inputs und Outputs kann auf Grundlage der Ergebnisse der Teilmodelle angenähert werden. Dazu werden zunächst alle Fahrtreppeninputs bzw. -outputs der Teilmodelle zusammenaddiert. Dabei werden folgende drei Szenariokombinationen für Warenhäuser und Einkaufszentren als sinnvoll betrachtet und separat untersucht:

- Szenariokombination 1-1:**
Warenhäuser-Trendszenario und Einkaufszentren-Szenario *Sättigung*
 Beide Szenarien stellen jeweils die Trendentwicklung bzw. die am wenigsten vom derzeitigen Trend abweichende Entwicklung dar.
- Szenariokombination 2-2:**
Szenario *Innenstadtstärkung* beider Teilmodelle
 In beiden Szenarien werden Maßnahmen zur Stärkung der Innenstädte angenommen. Die Entwicklung der Warenhäuser und der Einkaufszentren beeinflusst sich dabei gegenseitig nicht negativ, sofern bei den Maßnahmen darauf geachtet wird, dass beide Formen des Einzelhandels entsprechend ihrer individuellen Stärken gefördert werden.
- Szenariokombination 3-3:**
Warenhäuser-Szenario *Druck* und Einkaufszentren-Szenario *Übersversorgung*
 Beide Szenarien gehen jeweils vom derzeit als realistisch einzustufenden schlimmsten Fall aus. Werden Einkaufszentren weiter wie im Szenario *Übersversorgung* angenommen ausgebaut, so erhöht dies aufgrund der Konkurrenz den wirtschaftlichen Druck auf Warenhäuser, wie es im Szenario *Druck* angenommen wird.

Die aufsummierten Inputs bzw. Outputs der Teilmodelle machen in der MIN-Annahme 47% und in der MAX-Annahme 40% der gesamten Inputs bzw. Outputs an Fahrtreppen in Deutschland aus. Daraus können die verbliebenen 53% bzw. 60% genähert werden. Um einzelne Spitzen nicht künstlich zu vergrößern, gleichzeitig aber eine Entwicklung analog zur Summe aus den Teilmodellen zu modellieren, wird bei diesen jeweils der Mittelwert aus fünf Jahren gebildet. Für das Jahr 2032 beispielsweise wird der Mittelwert der Jahre 2030 bis 2034 verwendet. Es wird somit davon ausgegangen, dass die Faktoren welche den Input bzw. Output der Fahrtreppen in den Teilmodellen beeinflussen ebenfalls Einfluss auf die unbekannten Fahrtreppen haben. Die Berechnungen aller Szenariokombinationen beider Annahmen sind in Anhang A6.1 zu finden.

Für die MIN-Annahme in der Szenariokombination 1-1 sind die Inputs und Outputs der Fahrtreppen und das sich daraus ergebende Fahrtreppenlager bis zum Jahr 2040 in Abbildung 5-92 bis Abbildung 5-94 dargestellt. Die Inputs in Abbildung 5-92 zeigen, dass ein Großprojekt wie beispielsweise der für 2032 angenommene Flughafenausbau trotz eines geringen Anteils am Gesamtlager der Fahrtreppen eine deutliche Spitze im Gesamtinput erzeugen kann. Auch die Inputs bei Einkaufszentren und Warenhäusern in der kommenden Dekade, welche vorrangig auf den Austausch von Fahrtreppen zurückzuführen sind, erhöhen die Gesamtinputs. Für das Jahr 2017 ist ein deutlich geringerer Input zu verzeichnen, was auf die in diesem Jahr außergewöhnlich niedrige Anzahl von Eröffnungen von Einkaufszentren zurückzuführen ist.

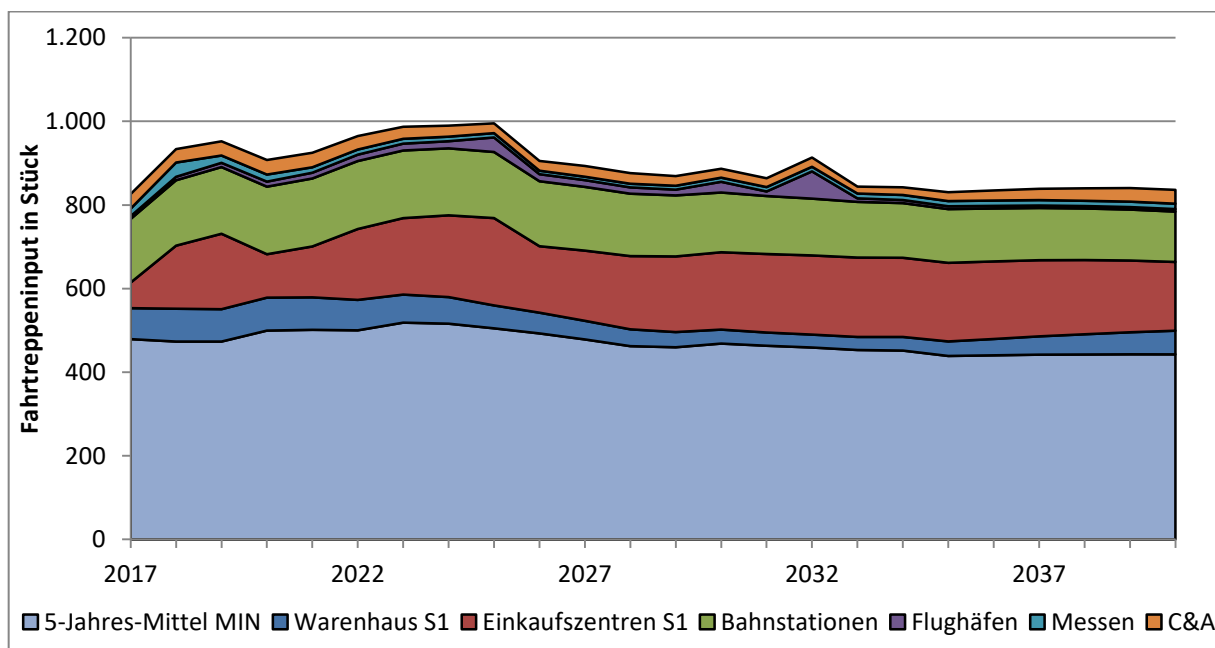


Abbildung 5-92: Fahrtreppeninput bis 2040 in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.

Insgesamt werden bei der MIN-Annahme in Szenariokombination 1-1 bis zum Jahr 2040 knapp 21.400 Fahrtreppen benötigt. Bei Kombination 2-2 sind es rund 21.200, bei Kombination 3-3 sind es etwa 21.700, da in dieser ein starker Zubau von Einkaufszentren stattfindet, welcher sich auch auf die anteilig angenommene Menge der unbekannten Fahrtreppen auswirkt.

Auch bei den Outputs in Abbildung 5-93 sind in der Gesamtentwicklung noch einzelne Zuwächse wie aufgrund der Fahrtreppenoutputs durch die zu schließenden Filialen der Teilmodelle Warenhäuser und C&A zu erkennen.

Es sind bei der MIN-Annahme sowohl in Szenariokombination 1-1 als auch in Kombination 2-2 bis zum Jahr 2040 insgesamt etwa 23.350 ausgebaute Fahrtreppen zu erwarten. In Kombination 3-3 hingegen ist mit rund 25.000 Fahrtreppen zu rechnen, da in dieser Kombination ein starker Rückbau von Einzelhandelsflächen angenommen wird.

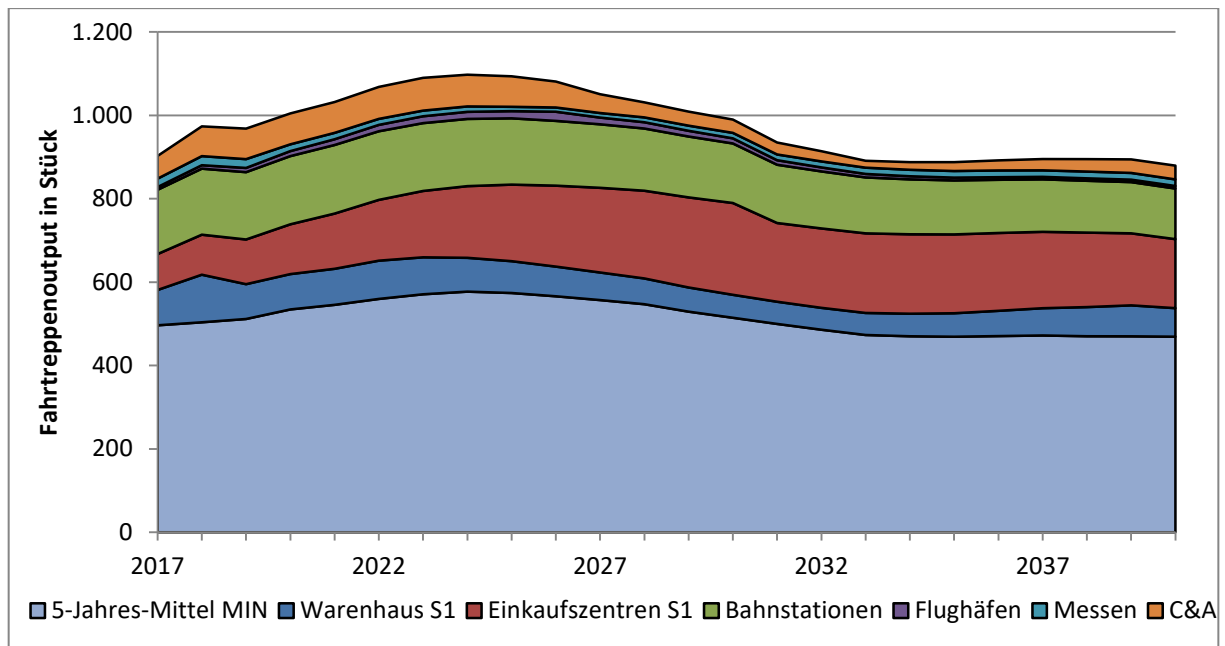


Abbildung 5-93: Fahrtreppenoutput bis 2040 in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.

Insgesamt übersteigen die Fahrtreppenoutputs die -inputs, sodass sich das Lager in Szenariokombination 1-1 wie in Abbildung 5-94 gezeigt leicht reduziert und bis zum Jahr 2040 auf etwa 28.000 Fahrtreppen sinkt.

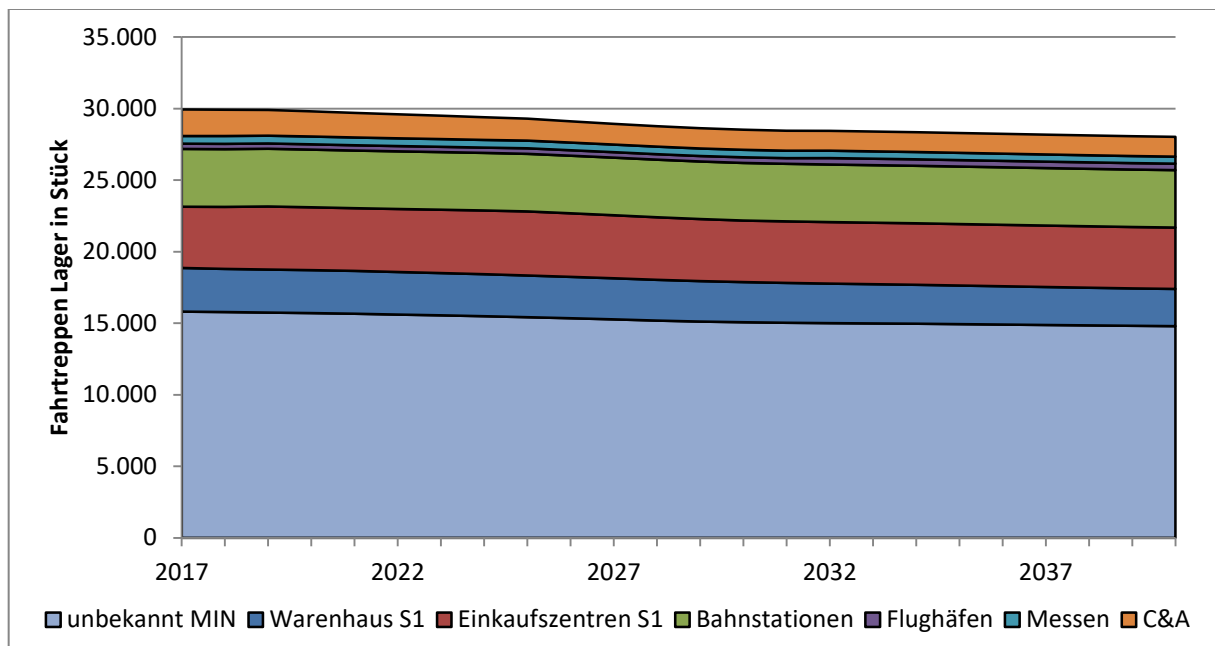


Abbildung 5-94: Entwicklung des Fahrtreppenlagers bis 2040 in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.

Bei der Szenariokombination 2-2 ergibt sich im Jahr 2040 ein Fahrtreppenlager um 27.650, während bei Kombination 3-3 etwa 27.150 Fahrtreppen verbleiben. Je nach Szenario kann die Entwicklung des stationären Einzelhandels bis 2040 eine Veränderung von bis zu etwa 900 Fahrtreppen bewirken.

Für die MAX-Annahme verhält sich die Entwicklung ähnlich, wie in Abbildung 5-95 bis Abbildung 5-97 gezeigt. Der in Abbildung 5-95 dargestellte Fahrtreppeninput der Szenariokombination 1-1 erzeugt bis 2040 einen Bedarf nach insgesamt knapp 25.000 Fahrtreppen. In Kombination 2-2 werden lediglich knapp 24.700 Fahrtreppen benötigt, während bei Kombination 3-3 knapp 25.500 Fahrtreppen eingebaut werden.

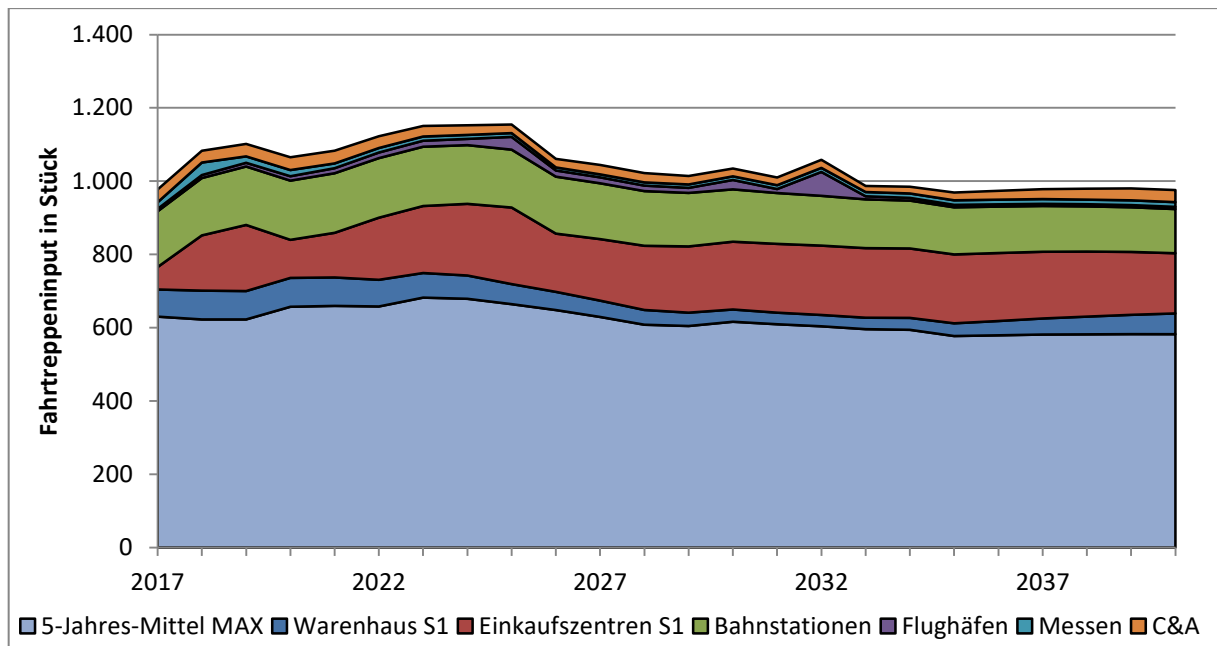


Abbildung 5-95: Fahrtreppeninput bis 2040 in Deutschland, MAX-Annahme, Szenariokombination 1-1.

Der in Abbildung 5-96 gezeigte Fahrtreppenoutput der Szenariokombination 1-1 ist auch bei der MAX-Annahme nach einem leichten Anstieg ab 2024 sinkend, aber dennoch größer als der jeweilige jährliche Input. Insgesamt werden sowohl in Szenariokombination 1-1 als auch 2-2 bis 2040 etwa 27.250 Fahrtreppen für eine Verwertung freigesetzt. In Szenariokombination 3-3 werden hingegen etwa 28.400 Fahrtreppen freigesetzt.

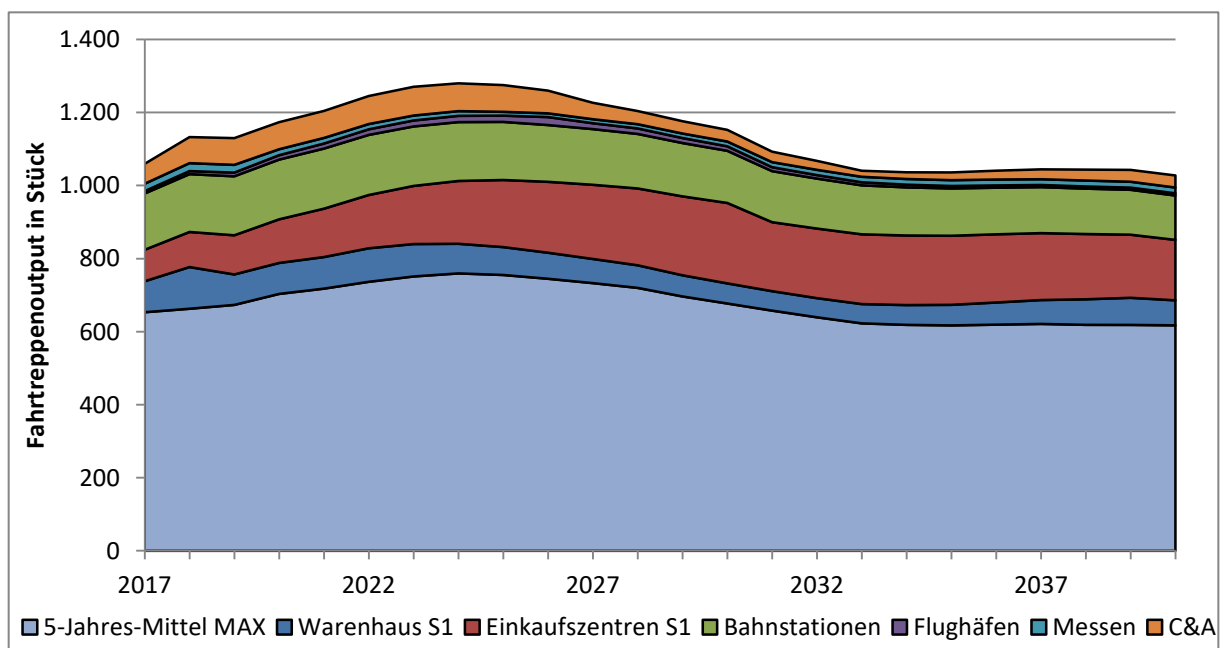


Abbildung 5-96: Fahrtreppenoutput bis 2040 in Deutschland, MAX-Annahme, Szenariokombination 1-1.

Das Fahrtreppenlager sinkt in der Szenariokombination 1-1 bis 2040 auf etwa 32.700 Fahrtreppen wie in Abbildung 5-97 dargestellt. Bei der Szenariokombination 2-2 ergibt sich für die MAX-Annahme ein Lager von etwa 32.250 Fahrtreppen, während bei der Kombination 3-3 etwa 31.600 Fahrtreppen verbleiben. Bei der MAX-Annahme sind somit rund 1.100 Fahrtreppen vom Szenario der Entwicklung des stationären Einzelhandels abhängig.

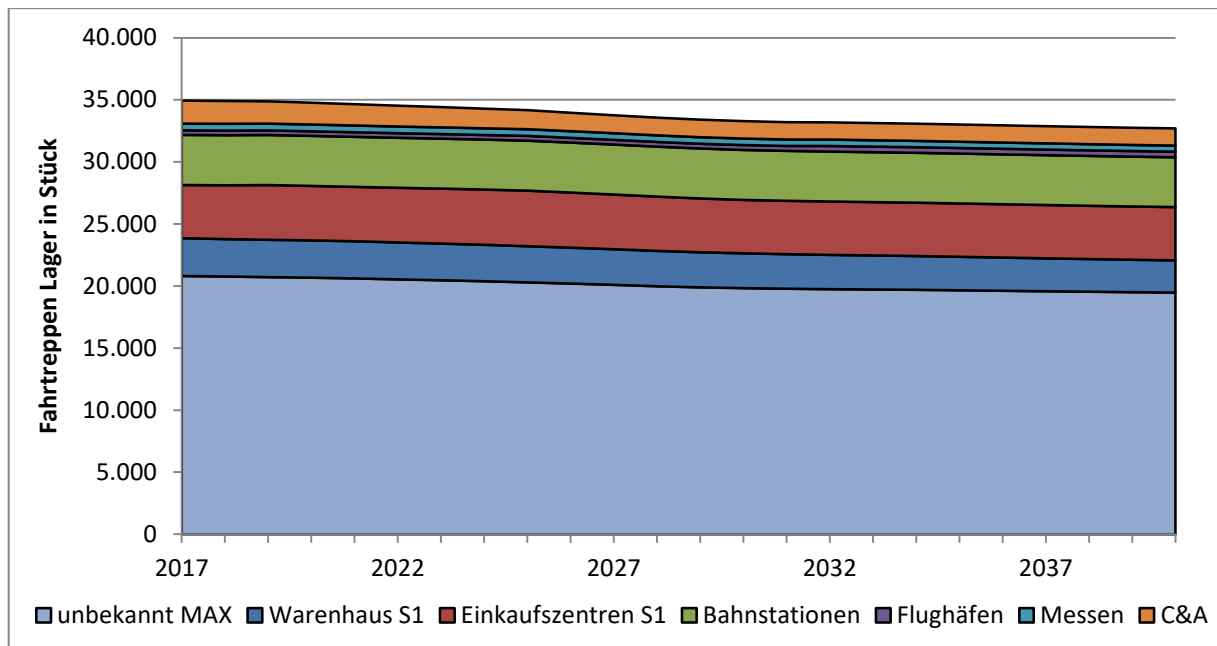


Abbildung 5-97: Entwicklung des Fahrtreppenlagers bis 2040 in Deutschland, MAX-Annahme, Szenariokombination 1-1.

5.8.3 Entwicklung der Rohstoffinputs und -outputs aus Fahrtreppen

Es wird angenommen, dass der Großteil der unbekannten Fahrtreppen sich in Einzelhandelsgeschäften und anderen Innenräumen befindet. Diese Annahme wird dadurch gestützt, dass bereits die beispielhaft untersuchte Kette C&A einen wesentlichen Anteil am Gesamtlager ausmacht. Es wird daher davon ausgegangen, dass bezüglich der Abmessungen und Rohstoffgehalte von den unbekannten Fahrtreppen 90% mit den Kaufhausfahrtreppen der Warenhäuser, Einkaufszentren sowie C&A vergleichbar sind sowie 10% mit den Verkehrsfahrtreppen in Bahnhöfen und Verkehrsflughäfen. Für die Rohstoffinputs der unbekannten Fahrtreppen wird für jedes laufende Jahr die Summe der Kaufhausfahrtreppen sowie der jeweilige Rohstoffinput aus den Teilmodellen Warenhäuser, Einkaufszentren sowie C&A ermittelt. Die Summe der einzelnen Rohstoffinputs wird durch die Summe der Fahrtreppen dividiert, um einen durchschnittlichen Input je Kaufhausfahrtreppe zu erhalten. Selbiges wird für die Verkehrsfahrtreppen in mittels der Teilmodelle Bahnhöfen und Verkehrsflughäfen durchgeführt. Für die unbekannten Fahrtreppen wird das mit 90% bzw. 10% gewichtete Mittel der durchschnittlichen Inputs je Fahrtreppe verwendet. Diese werden mit dem im vorangegangenen Kapitel über fünf Jahre gemittelten Fahrtreppeninput multipliziert, um den gewichteten Rohstoffinput der unbekannten Fahrtreppen zu erhalten.

Analog werden die Rohstoffoutputs ermittelt. Die genauen Berechnungen für die MIN-Annahme sowie MAX-Annahme und alle drei Szenariokombinationen sind in Anhang A6.2 aufgeführt. Nachfolgend werden die Entwicklungen der Inputs, Outputs und Lager von Stahl und Aluminium für die MIN-Annahme in der Szenariokombination 1-1 grafisch dargestellt. Die Entwicklung selbiger für die MAX-Annahme verläuft wie auf der Betrachtungsebene Gebäudetechnik qualitativ analog, jedoch mit einem höheren Beitrag durch die unbekannten Fahrtreppen.

In der Entwicklung der Inputs, Outputs sowie des Lagers von Stahl in Abbildung 5-98 bis Abbildung 5-100 ist weiterhin die jeweilige Entwicklung auf der Gebäudetechnikebene klar zu erkennen. Einzelne Großprojekte wie die für 2032 angenommene Flughafenerweiterung zeigen auch hinsichtlich des Stahlinputs in Abbildung 5-95 eine Spitze im Gesamtverlauf. Insgesamt werden bei der MIN-Annahme in der Szenariokombination 1-1 zwischen 2017 und 2040 117.150 t Stahl bzw. Edelstahl für neue oder zu reparierende Fahrtreppen benötigt. In Kombination 2-2 werden etwa 115.300 t benötigt, in Kombination 3-3 aufgrund des starken Ausbaus der Einkaufszentren rund 120.300 t. Das Szenario macht somit hinsichtlich der Stahlinputs einen Unterschied von bis zu 5.000 t aus, was etwa 4,3% entspricht.

Bei der MAX-Annahme werden bei Szenariokombination 1-1 etwa 135.800 t Stahl bzw. Edelstahl benötigt, in Kombination 2-2 rund 133.600 t und in Kombination 3-3 gut 139.500 t. Das Szenario macht somit bis zu knapp 6.000 t Unterschied aus, was rund 4,4% entspricht.

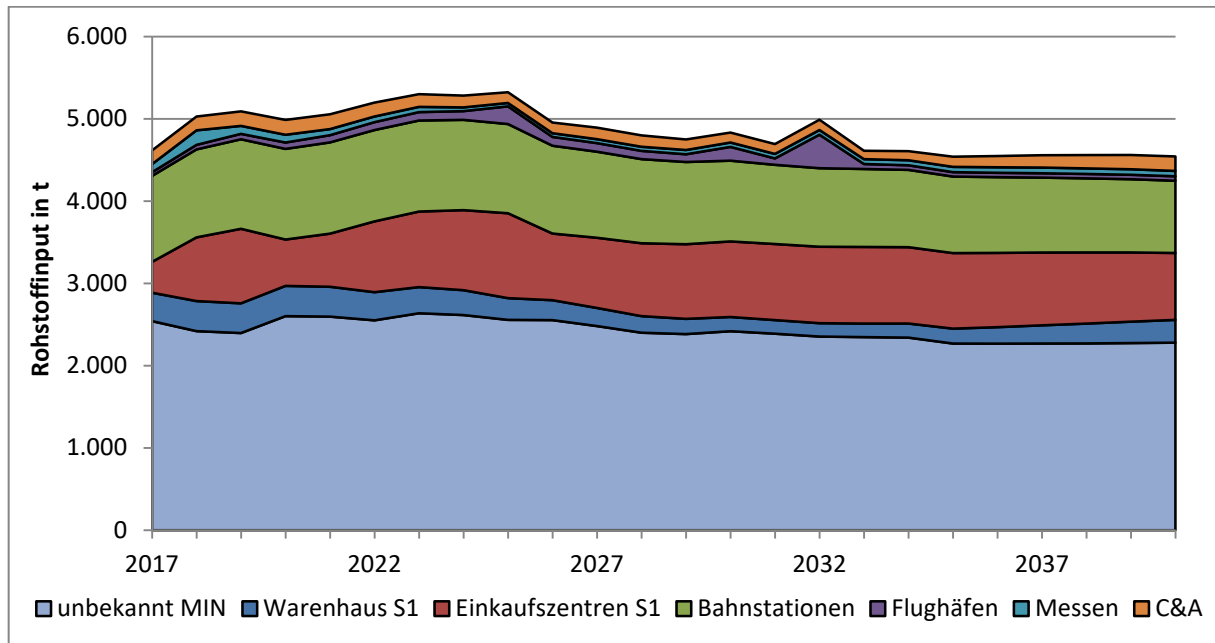


Abbildung 5-98: Stahlinput bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.

Bei dem in Abbildung 5-99 dargestellten Stahloutput in der Szenariokombination 1-1 werden insgesamt etwa 131.300 t Stahl bzw. Edelstahl freigesetzt. In Kombination 2-2 ist mit 131.200 t ein sehr ähnlicher Wert zu erwarten, während bei Kombination 3-3 bedingt durch den starken Rückbau von Einzelhandelsflächen ein Gesamtoutput von etwa 138.750 t entsteht. Das Szenario kann somit einen Unterschied von bis zu etwa 7.550 t ausmachen, was etwa 5,6% des Gesamtoutputs entspricht.

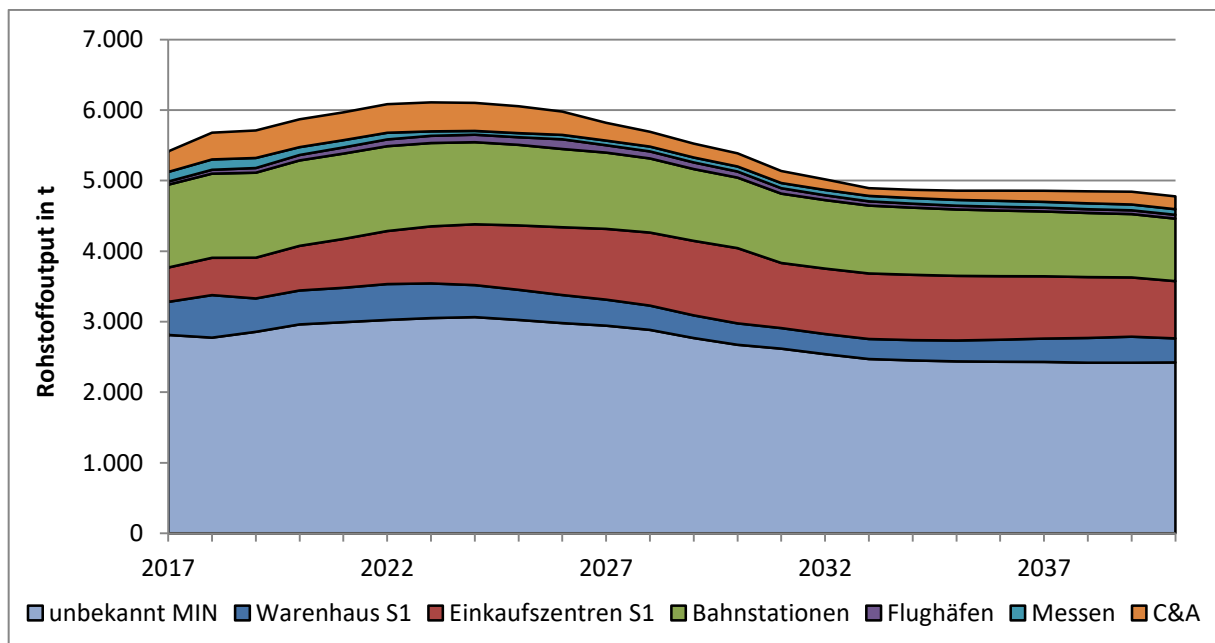


Abbildung 5-99: Stahloutput bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.

Bei der MAX-Annahme sind in Kombination 1-1 bis 2040 insgesamt 152.300 t Stahloutput zu erwarten, in Kombination 2-2 etwa 152.150 t und in Kombination 3-3 knapp 161.000 t. Somit macht das Szenario bis zu etwa 8.850 t Unterschied aus, was rund 5,7% des Gesamtoutputs entspricht.

Die ab 2024 leicht sinkenden Outputs übersteigen weiterhin die Inputs, sodass das Stahllager bis 2040 wie in Abbildung 5-100 dargestellt leicht sinkt. In Szenariokombination 1-1 sinkt es von insgesamt rund 162.200 t im Basisjahr 2016 auf etwa 141.000 t, in Kombination 2-2 auf 138.600 t und in Kombination 3-3 auf etwa 135.000 t. Je nach Szenario werden somit bis 2040 insgesamt zwischen 21.000 t und 27.200 t Stahl bzw. Edelstahl aus dem Lager freigesetzt.

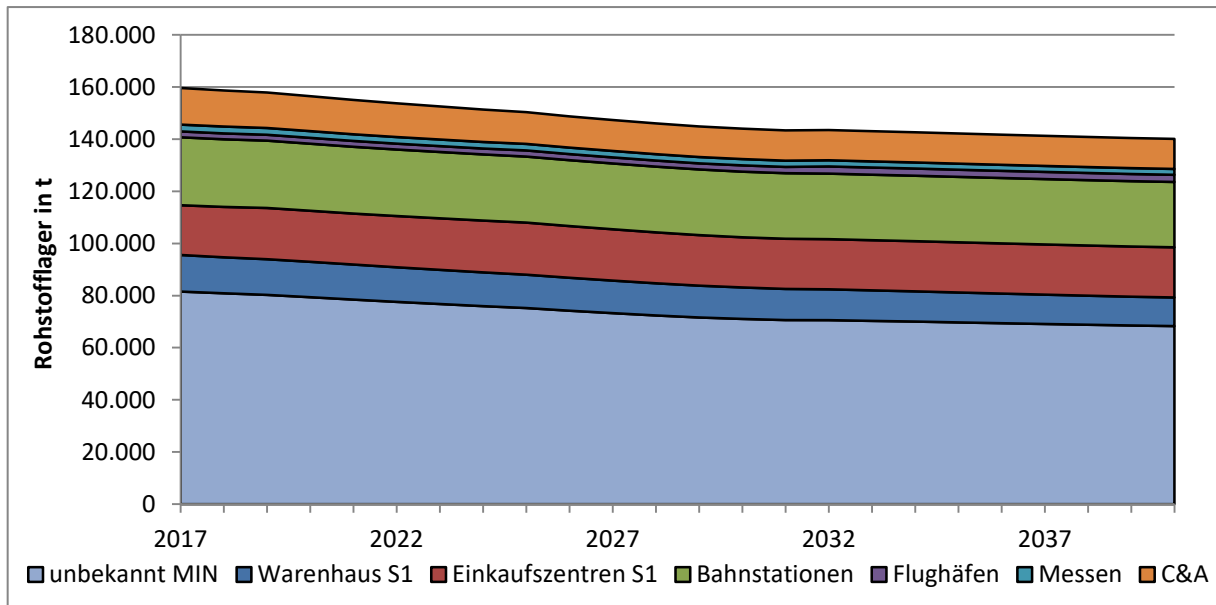


Abbildung 5-100: Entwicklung des Rohstofflagers für Stahl bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.

Für die MAX-Annahme sinkt das Lager von etwa 188.600 t im Basisjahr auf 165.300 t bei Szenariokombination 1-1, auf 162.400 t bei Kombination 2-2 sowie auf 158.400 t bei Kombination 3-3. Je nach Szenario ist dies bis 2040 insgesamt eine Freisetzung von 23.300 t bis 30.200 t.

Die Aluminiuminputs erfolgen annähernd analog zu den Stahlinputs. Bei der in Abbildung 5-101 dargestellten Szenariokombination 1-1 der MIN-Annahme werden bis 2040 knapp 18.000 t Aluminium für den Fahrtreppeninput benötigt.

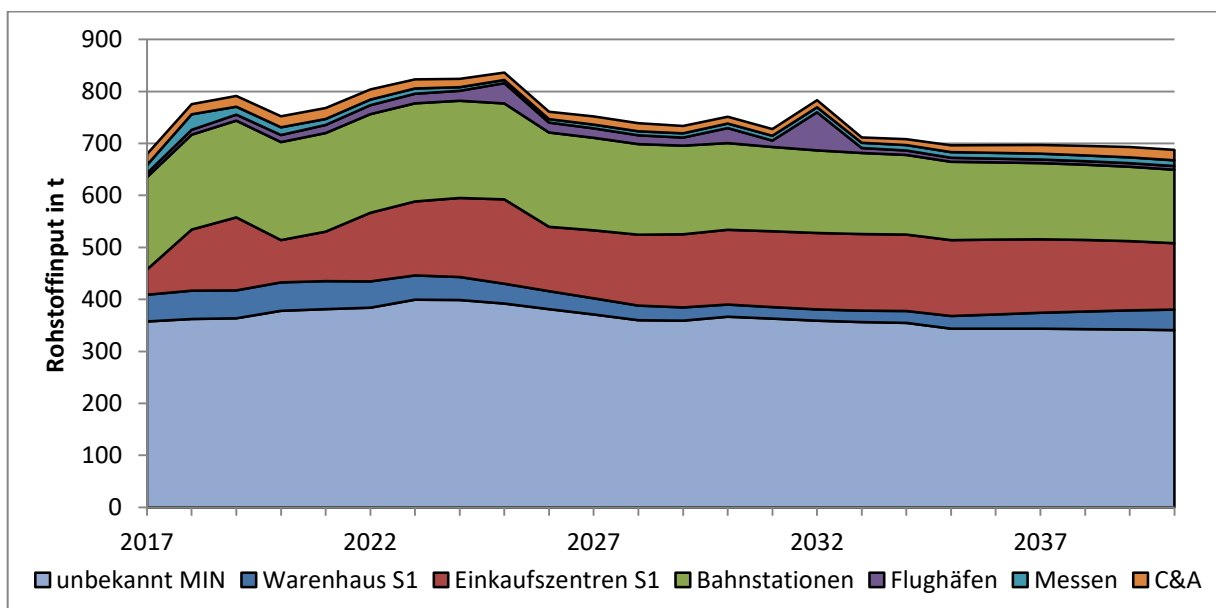


Abbildung 5-101: Aluminiuminput bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.

Bei Kombination 2-2 liegt der Wert mit etwa 17.650 t etwas niedriger, bei Kombination 3-3 mit knapp 18.550 t etwas höher. Das Szenario macht somit einen Unterschied von bis zu 900 t Aluminium aus, was rund 5% des Gesamtinputs entspricht. Bei der MAX-Annahme sind bei Kombination 1-1 etwa 20.750 t Aluminium notwendig, bei Kombination 2-2 gut 20.350 t und bei Kombination 3-3 knapp 21.450 t. Somit ist ein Unterschied von bis zu 1.100 t bzw. 5,3% des Gesamtinputs vom Szenario abhängig.

Die Entwicklung der Outputs von Aluminium zeigt sich abweichend von der Entwicklung bei Stahl. Dies ist auf die geringeren Aluminiumanteile älterer Fahrtreppen zurückzuführen, welche im Laufe der Zeit durch modernere Fahrtreppen mit höherem Aluminiumgehalt ersetzt werden. Je weiter die Zeit voranschreitet, desto mehr Fahrtreppen mit niedrigerem Gehalt wurden bereits ersetzt und desto mehr Fahrtreppen mit höheren Aluminiumgehalten finden sich im Output der Fahrtreppen. Somit steigt der Aluminiumoutput an, wie in Abbildung 5-102 für die Szenariokombination 1-1 in der MIN-Annahme dargestellt. Insgesamt werden bis 2040 in dieser Kombination sowie auch in Szenariokombination 2-2 rund 15.750 t Aluminium freigesetzt. In Kombination 3-3 werden knapp 16.950 t freigesetzt, sodass das Szenario einen Unterschied von bis zu 1.200 t bzw. etwa 7,4% ausmachen kann.

Bei der MAX-Annahme sind für Szenariokombination 1-1 etwa 18.150 t Aluminiumoutput zu erwarten, für Kombination 2-2 etwa 18.200 t und für Kombination 3-3 knapp 19.600 t. Das Szenario kann somit einen Unterschied von bis zu 1.450 t bzw. etwa 7,8% des Gesamtoutputs ausmachen.

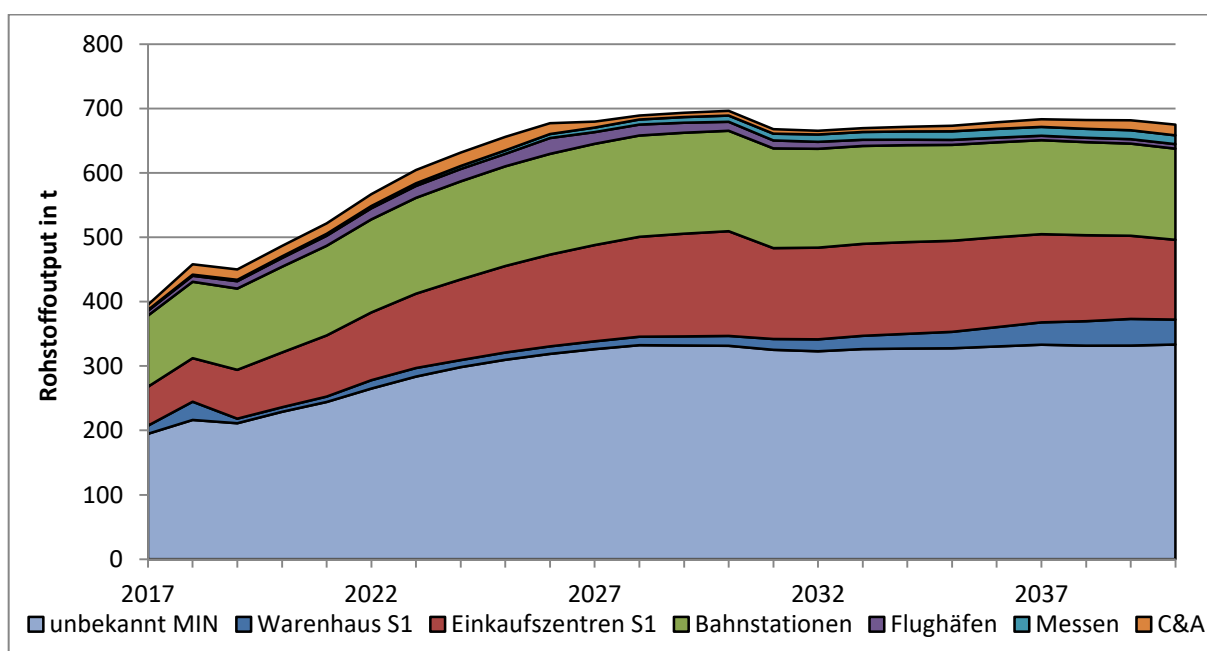


Abbildung 5-102: Aluminiumoutput bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.

Auch das Aluminiumlager entwickelt sich aufgrund der sich verändernden Rohstoffgehalte bis 2040 noch abweichend vom Stahllager. Bei der in Abbildung 5-103 dargestellten Entwicklung bei Szenariokombination 1-1 der MIN-Annahme ist zu erkennen, dass es zunächst anwächst. Die Aluminiuminputs sind in diesen Jahren größer als die -outputs, da sich unter den Fahrtreppenoutputs noch Geräte mit geringerem Aluminiumgehalt befinden, während neu eingebaute Fahrtreppen höhere Aluminiumgehalte aufweisen. Gegen Ende des Betrachtungszeitraumes ist jedoch bereits ein leichtes Sinken des Aluminiumlagers zu erkennen.

Da im Materialflussmodell keine Annahmen für Rohstoffgehalte von jüngeren Altersklassen als ab 1991 getroffen wurden, gleichen sich die Aluminiumgehalte der Fahrtreppeninputs und -outputs mit der Zeit an. Ist dies geschehen, so verlaufen auch die Aluminiuminputs, -outputs sowie die Entwicklung des Lagers analog zur Entwicklung auf der Gebäudetechnikebene.

In Szenariokombination 1-1 der MIN-Annahme steigt das Aluminiumlager von etwa 21.450 t im Basisjahr 2016 auf etwa 24.800 t, in Kombination 2-2 auf 24.250 t und in Kombination 3-3 auf etwa 23.850 t. Je nach Szenario werden somit in der Bilanz zwischen 2.400 t und 3.350 t Aluminium im Lager gebunden.

Für die MAX-Annahme steigt das Lager von etwa 24.850 t im Basisjahr auf knapp 28.600 t bei Szenariokombination 1-1, auf 28.000 t bei Kombination 2-2 sowie auf 27.500 t bei Kombination 3-3. Je nach Szenario ist dies in der Bilanz eine Bindung von 2.650 t bis 3.750 t im Lager.

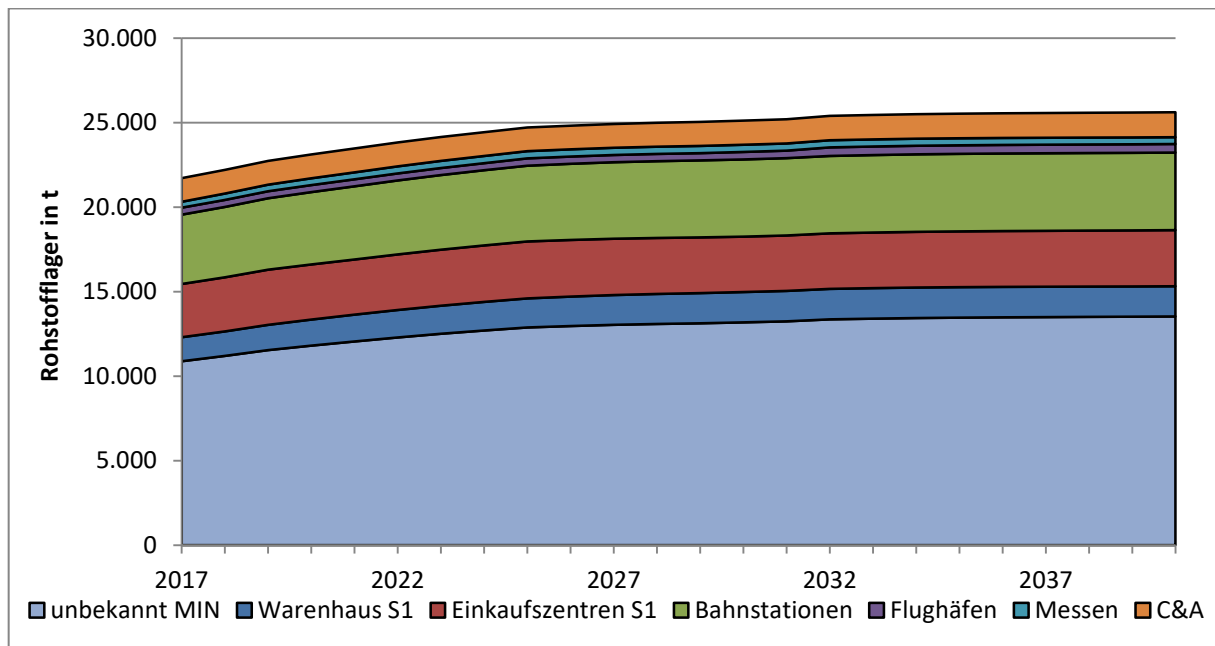


Abbildung 5-103: Entwicklung des Rohstofflagers für Aluminium bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland für MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.

Die Entwicklung der Kupferinputs und –outputs sowie des Kupferlagers erfolgen proportional zur jeweiligen Entwicklung der Gebäudetechnikebene. Grund dafür ist der konstant bleibende Kupfergehalt, welcher unabhängig von Altersklasse und Einsatzort angenommen wurde. Beispielfhaft ist dies in Abbildung 5-104 bis Abbildung 5-106 für die MIN-Annahme und Szenariokombination 1-1 dargestellt.

Bis 2040 werden in dieser Kombination bei der MIN-Annahme 1.168 t Kupferinput benötigt, während 1.275 t Kupfer wieder freigesetzt werden. In Szenariokombination 2-2 ist der Input mit 1.157 t geringfügig kleiner, der Output mit 1.275 t gleich groß. Für Szenariokombination 3-3 sind Input mit 1.185 t sowie Output mit 1.365 t nochmals geringfügig höher. Das Szenario kann somit beim Input einen Unterschied von bis zu 28 t Kupfer bzw. etwa 2,4% ausmachen, beim Output einen Unterschied von bis zu 90 t bzw. 6,5% bis 7%.

Unter der MAX-Annahme steigen die aufaddierten Inputs bis 2040 bei Szenariokombination 1-1 auf 1.362 t, bei Kombination 2-2 auf 1.348 t sowie bei Kombination 3-3 auf 1.388 t. Dies ist ein Unterschied von bis zu 40 t bzw. knapp 3%. Die Outputs steigen auf 1.488 t bei Szenariokombination 1-1 und 2-2 sowie 1.550 t bei Kombination 3-3. Der Unterschied beträgt bis zu 62 t bzw. rund 4%.

In Szenariokombination 1-1 der MIN-Annahme sinkt das Kupferlager bedingt durch die sich verringernde Fahrtreppenzahl von etwa 1.650 t im Basisjahr 2016 auf etwa 1.537 t, in Kombination 2-2 auf 1.517 t und in Kombination 3-3 auf etwa 1.484 t. Je nach Szenario wird somit in der Bilanz zwischen 113 t und 166 t Kupfer frei.

Für die MAX-Annahme sinkt das Lager von etwa 1.925 t im Basisjahr auf rund 1.794 t bei Szenariokombination 1-1, auf 1.771 t bei Kombination 2-2 sowie auf 1.735 t bei Kombination 3-3. Je nach Szenario ist dies in der Bilanz eine Freisetzung von 131 t bis 190 t Kupfer.

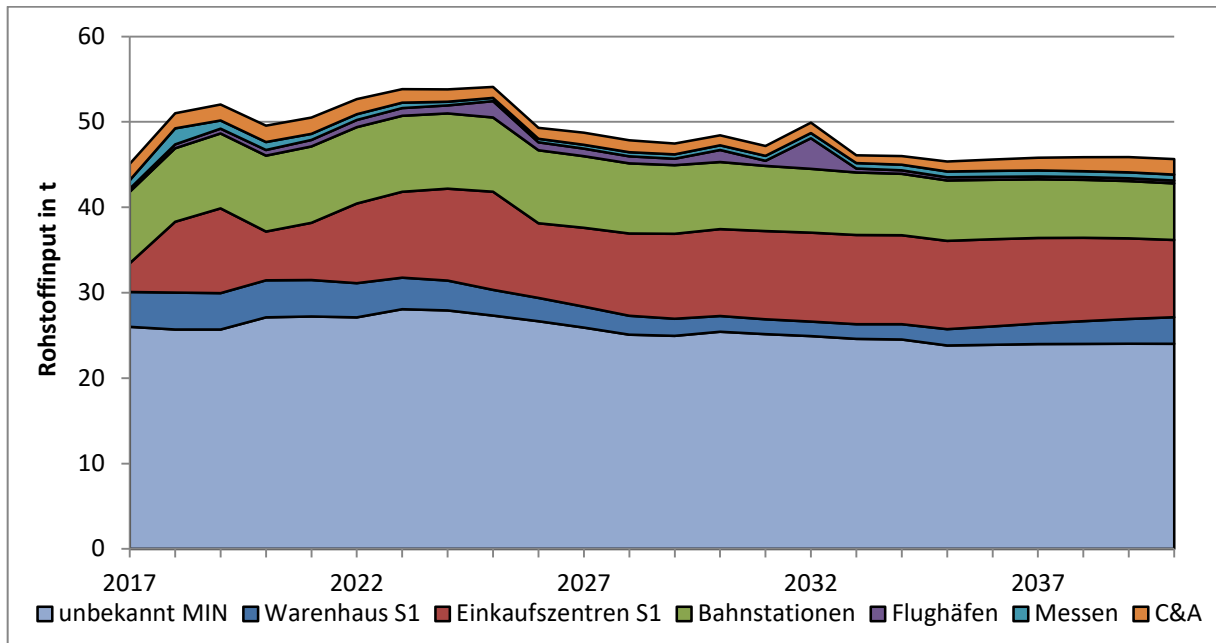


Abbildung 5-104: Kupferinput bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.

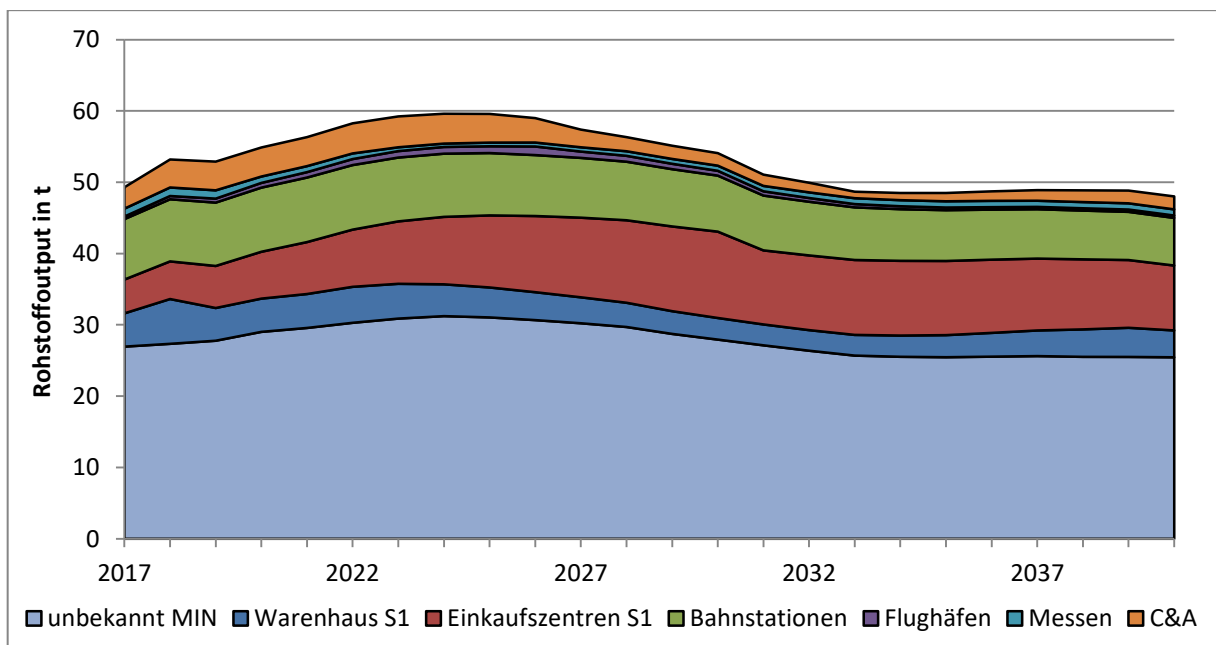


Abbildung 5-105: Kupferoutput bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.

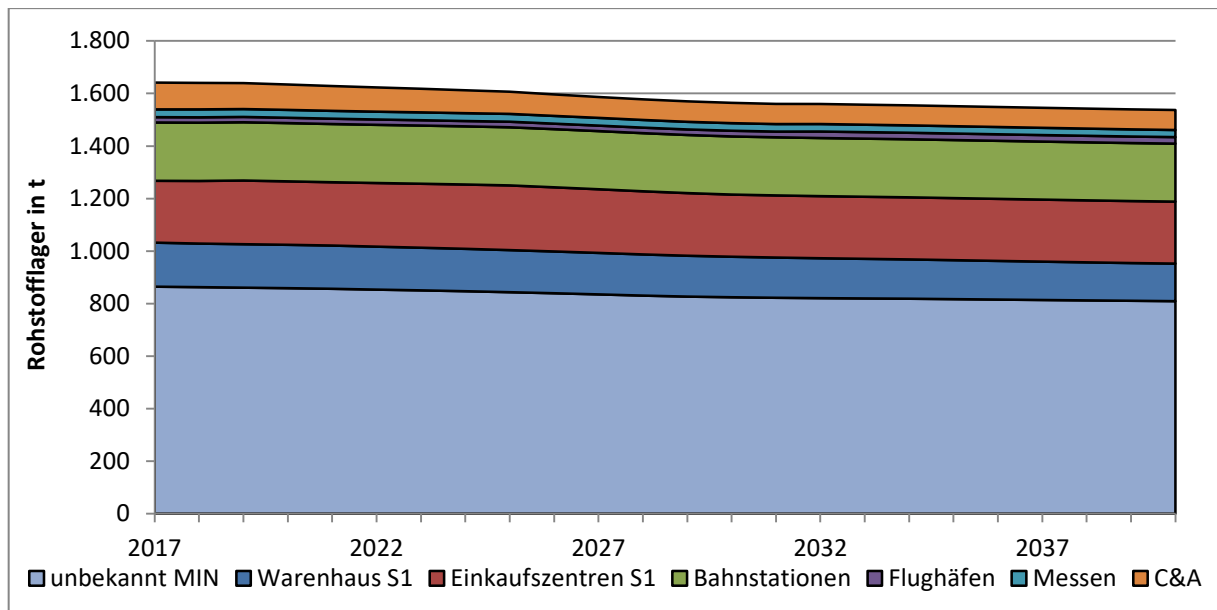


Abbildung 5-106: Entwicklung des Rohstofflagers für Kupfer bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland für MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.

5.8.4 Analyse der Ergebnisse der Beispielrechnung

Nachfolgend werden die generierten Ergebnisse zunächst hinsichtlich ihrer relevantesten Treiber für die Rohstoffflüsse analysiert. Mittels einer Sensitivitätsanalyse wird weiterhin betrachtet, wie stark sich verschiedene Ungenauigkeiten in den Annahmen bzw. Daten auf das Ergebnis auswirken können. Weiterhin wird mittels eines Vergleichs zu bereits bekannten Daten die Relevanz der in Fahrtreppen vorhandenen Rohstoffe überprüft.

5.8.4.1 Analyse der relevantesten Treiber für Inputs und Outputs

Abbildung 5-107 zeigt die Anteile am Fahrtreppenoutput, die aufgrund des Austauschs am Ende der Nutzungsdauer, aufgrund von Geräteabbau und aufgrund von Veränderungen auf der Gebäudeebene zustande kommen, Abbildung 5-108 die Anteile am Fahrtreppeninput durch selbige Ursachen.

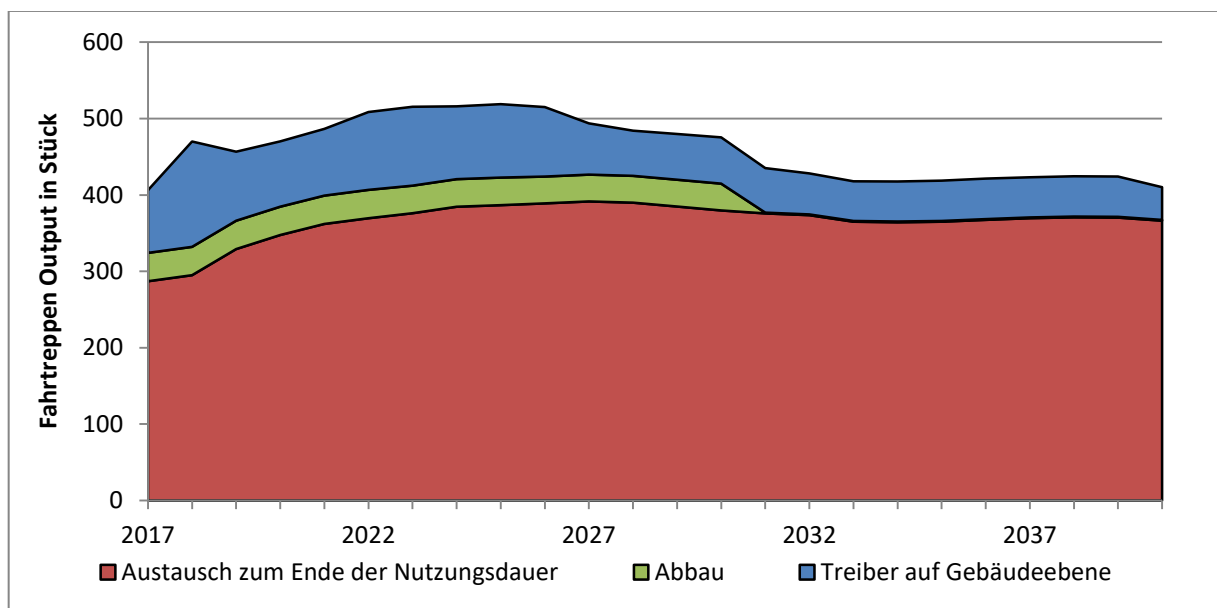


Abbildung 5-107: Fahrtreppenoutputs der Teilmodelle differenziert nach der Ursache der Fahrtreppenentfernung in Szenariokombination 1-1.

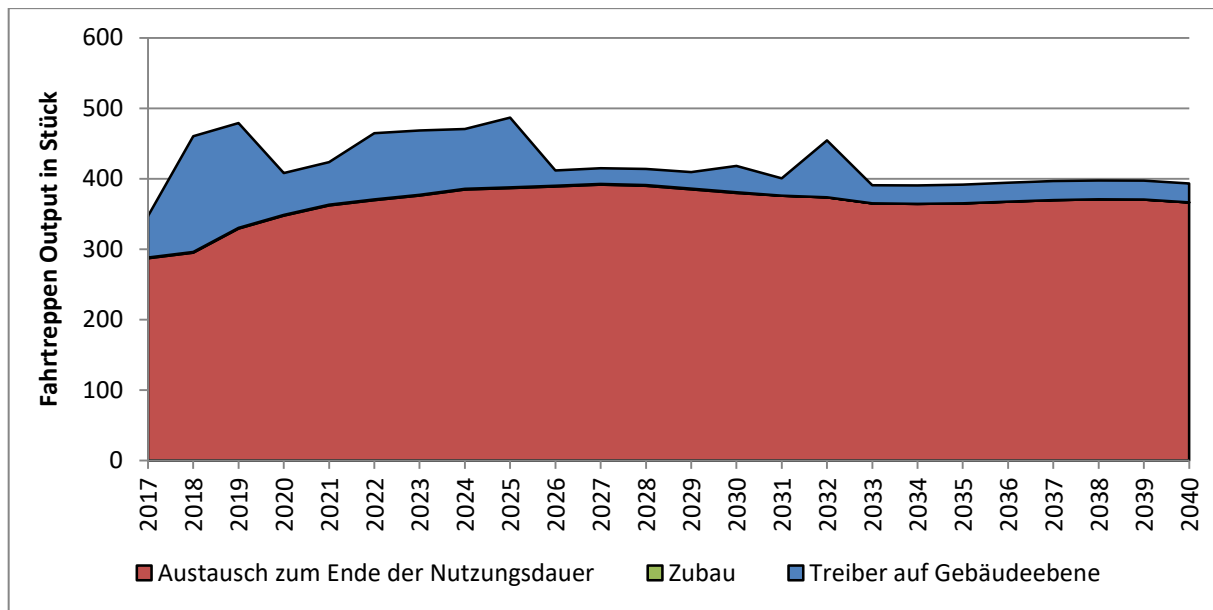


Abbildung 5-108: Fahrtreppeninputs der Teilmodelle differenziert nach der Ursache des Einbaus in Szenariokombination 1-1. Der Anteil des Zubaus umfasst je eine Fahrtreppen bis einschließlich 2030 und ist daher in der Grafik nicht zu erkennen.

Es ist zu erkennen, dass der Austausch von Fahrtreppen am Ende ihrer Nutzungsdauer einen wesentlichen Faktor für die In- und Outputs von Fahrtreppen und damit auch für die darin enthaltenen Rohstoffe darstellt. Insgesamt entstehen zwischen 63% und 89% des Outputs und 64% bis 94% des Inputs durch Austausch. Im Teilmodell Bahnstationen sowie Verkehrsflughäfen entstehen In- und Outputs praktisch nur dadurch. Auch bei Szenarien der Teilmodelle Warenhäuser und Einkaufszentren mit vergleichsweise starken Änderungen auf der Gebäudeebene entsteht zu jeder Zeit noch mindestens die Hälfte des Gesamtoutputs durch Fahrtreppenaustausch. Dies belegt auch, dass es für Materialflüsse von Gebäudetechnik notwendig ist, ein spezifisches Modell zu verwenden. In den bislang verwendeten allgemeineren Modellen, welche nur auf Gebäudeebene Einflussfaktoren besitzen, wird Geräte-austausch nicht berücksichtigt.

Der Geräteabbau trägt im Fall der Fahrtreppen nur einen relativ geringen Teil zu den Outputs bei. Hinsichtlich der Inputs ist der Anteil des Geräte-zubaus zu vernachlässigen, was jedoch ein spezifisches Merkmal der Fahrtreppen ist. Zum einen sind diese bereits seit mehreren Dekaden technischer Standard. Zum anderen stellen sie eine sehr kostenintensive Ausstattung dar, die in vielen Gebäudetypen nicht mehr zwangsläufig benötigt und teils durch barrierefreie Aufzüge ersetzt wird. Wird sich gerade erst im Gebäudebestand etablierende Gebäudetechnik wie Rauchwarnmelder betrachtet, ist mit einem deutlich größeren Anteil des Zubaus zu rechnen.

Treiber auf der Gebäudeebene wie Neubauten, Abbrüche, Umnutzungen und im Fall der Messegebäude auch Modernisierungen tragen ebenfalls einen sichtbaren Anteil zum Fahrtreppeninput und -output bei. Vor allem Großprojekte wie Flughäfen oder verstärkte Investitionen in Neu- bzw. Ausbau von Einkaufszentren erzeugen beim Input deutliche Spitzen bzw. temporär höhere Werte, wie in Abbildung 5-108 zu erkennen. Auch die wirtschaftlichen Entwicklungen der Gebäudetypen haben Einfluss auf die In- und Outputs sowie Lager der Fahrtreppen und den damit verbundenen Rohstoffebenen. Dies wird vor allem bei der Entwicklung der Warenhäuser im Szenario *Druck* sowie bei der Immobilienkrise im Szenario *Übersorgung* der Einkaufszentren deutlich, bei denen Einzelhandelsflächen nicht mehr wirtschaftlich arbeiten können und daher geschlossen und schließlich abgebrochen bzw. umgenutzt werden.

An der voneinander deutlich abweichenden Lagerentwicklung von Stahl und Aluminium in den Teilmodellen sowie auch in der Gesamthochrechnung wird ersichtlich, wie bedingt durch die Verwendung unterschiedlicher Rohstoffgehalte zu verschiedenen Einbauzeitpunkten erhebliche

Veränderungen in den Rohstoffinputs und -outputs entstehen können. Im Berechnungsbeispiel Fahrtreppen mit verhältnismäßig langen Nutzungsdauern der Geräte erscheint diese Veränderung zudem um etwa 20 bis 40 Jahre verzögert und zieht sich entsprechend lang. Dies zeigt die Bedeutung, die baujahresabhängige Rohstoffgehalte für die Genauigkeit des dynamischen Materialflussmodells haben können. Anhand der abrupten Veränderungen der Anzahl auszutauschender Fahrtreppen zu Beginn des Betrachtungszeitraumes der Warenhausszenarien sowie im Szenario *Druck* zeigt sich jedoch auch, dass eine Differenzierung nach Altersklassen zugunsten unterschiedlicher Rohstoffgehalte Annahmen erfordern kann, welche wiederum Ungenauigkeiten in der Modellierung erzeugen können. In diesem Fall muss abgewogen werden, welche Vorgehensweise die Realität am besten abbildet.

5.8.4.2 Sensitivitätsanalyse

Um den Einfluss der verschiedenen Eingangsparameter (Verkaufsflächeninput bzw. -output, Austausch defekter Fahrtreppen sowie Rohstoffgehalte von Geräten und Reparaturmaßnahmen) auf das Endergebnis der Rohstoffinputs bzw. -outputs zu ermitteln, wurde am Beispiel der Inputs und Outputs von Stahl im Trendszenarios für Warenhäuser im Jahr 2017 eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dazu wurden die jeweiligen Eingangsparameter einzeln skaliert und die infolge dessen auftretende prozentuale Veränderung beim gesamten Rohstoffinput bzw. -output beobachtet. In Abbildung 5-109 sind die Ergebnisse für den Stahloutput dargestellt.

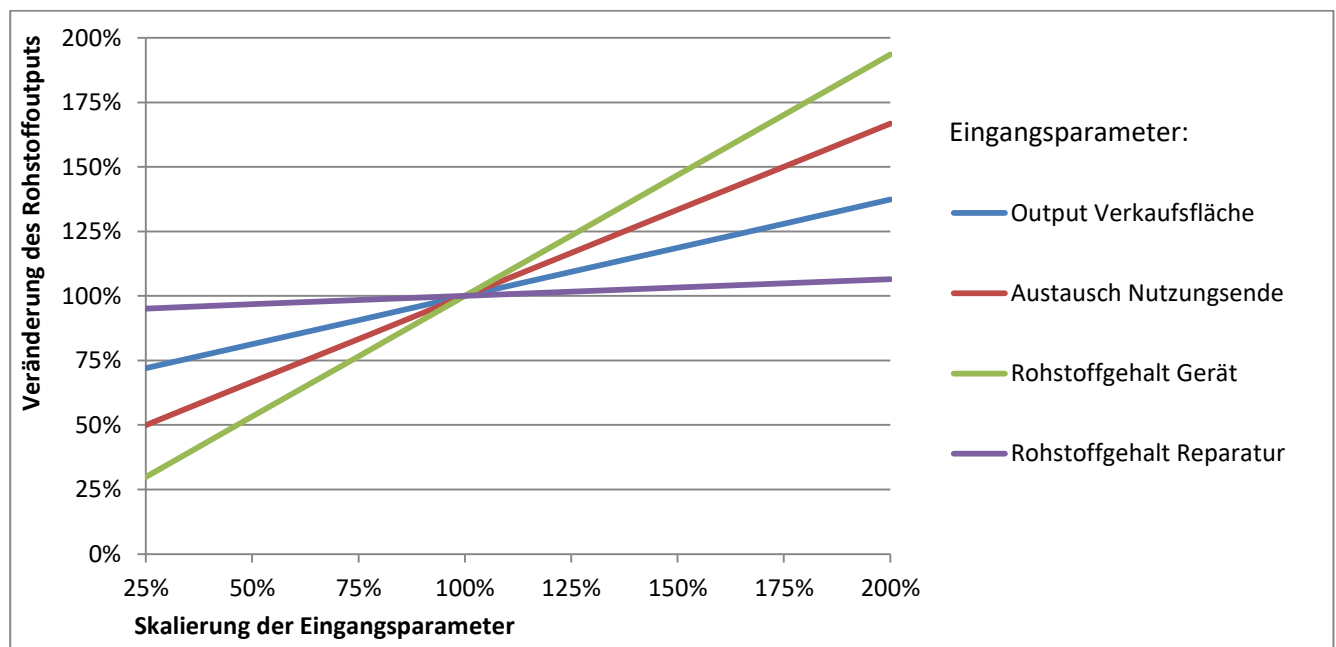


Abbildung 5-109: Sensitivitätsanalyse für das Beispiel Trendszenario Warenhäuser im Jahr 2017, Stahloutput.

Skalierungen des Inputs Verkaufsfläche erzeugten keine Veränderung des Rohstoffoutputs. Es ist zu erkennen, dass eine Änderung des Rohstoffgehalts für Reparaturmaßnahmen keine wesentlichen Veränderungen erzeugt, da er bedingt durch den eher geringen Anteil der Rohstoffoutputs durch Reparaturen ebenfalls klein bleibt. Veränderungen im Output Verkaufsfläche sowie bei der Anzahl ausgetauschter Fahrtreppen nach Nutzungsende hingegen erzeugen aufgrund der großen betroffenen Gerätemengen bereits für deutliche Veränderungen im Berechnungsergebnis des Materialflussmodells. Eine Skalierung des Rohstoffgehalts der Geräte erzeugt eine fast ebenso große prozentuale Änderung des Rohstoffoutputs. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Rohstoffgehalt als Faktor mit allen Fahrtreppenoutputs multipliziert wird und zum Gesamtoutput des Rohstoffes nur noch eher geringe Mengen aufgrund von Reparaturmaßnahmen hinzukommen.

Die Sensitivitätsanalyse für den Rohstoffinput wich nur um wenige Prozentpunkte von der für den Rohstoffoutput ab. In diesem Fall erzeugte der Input Verkaufsfläche anstelle des Output Verkaufsfläche

den entsprechenden Rohstoffinput; der Output Verkaufsfläche hingegen erzeugte keine Veränderung des Rohstoffinputs.

Aus den Ergebnissen der Sensitivitätsanalyse lässt sich schließen, dass eine Ungenauigkeit der Rohstoffgehalte sich prozentual fast im gleichen Maße als Ungenauigkeit der abgeschätzten Rohstoffflüsse und damit auch -lager niederschlägt. Der Fokus in der Datenermittlung sollte somit vor allem auf der Ermittlung möglichst repräsentativer Rohstoffgehalte liegen. Weiterhin ist eine höhere Genauigkeit vor allem bei Eingangsdaten empfehlenswert, welche große Mengen an Geräten bzw. Rohstoffen erzeugen.

5.8.4.3 Vergleich mit bekannten bzw. bereits abgeschätzten Größenordnungen

Im Projekt KartAL wurden überschlägig Lagerbestände des Jahres 2010 und zukünftige Entwicklungen von Rohstoffströmen ermittelt (siehe Kapitel 1.2). Insgesamt wurde ein Lagerbestand rund 1.166 Mio. t verschiedener Metalle in den Bereichen Hochbau, Haustechnik, Tiefbau sowie langlebige Konsumgüter berechnet. Die Stahlmasse betrug davon 1.044 Mio. t, die Kupfermasse 8,4 Mio. t und die Aluminiummasse 6,7 Mio. t (Schiller et al. 2015). Die im Rahmen dieser Arbeit für Fahrtreppen ermittelten Bestände für 2016 über rund 161.000 t bis 187.100 t Stahl, 21.300 t bis 24.700 t Aluminium sowie 1.650 t bis 1.925 t Kupfer erscheinen demgegenüber als sehr kleiner Anteil. Es muss jedoch beachtet werden, dass rund 86% der in KartAL ermittelten Metalle in den Bereichen Hoch- bzw. Tiefbau verbaut wurde, in welchen mit deutlich längeren Verweildauern im Lager gerechnet werden muss (Technische Universität Darmstadt 2016). Die verbliebenen rund 14% der Metalle aus den Bereichen Haustechnik sowie langlebige Konsumgüter erzeugen aufgrund der geringeren Lebensdauer relativ gesehen höhere Input- und Outputflüsse. Werden lediglich sie betrachtet, so befindet sich der Lageranteil der ermittelten Rohstoffe aus Fahrtreppen in der Größenordnung von etwa 1%. In Anbetracht der Vielzahl von Gebäudetechnikarten und langlebigen Konsumgütern, in welche auch Fahrzeuge zählen, wird dies als verhältnismäßig großer Anteil betrachtet.

Abschätzungen oder gar Statistiken zu Flüssen wie dem Gesamtoutput von Stahl und Aluminium für Deutschland existieren nicht. Sie abzuschätzen ist derzeit ein Ziel des Forschungsfeldes Urban Mining. Die Größenordnung des Anteils aus Fahrtreppen kann jedoch anhand der Import- und Exportstatistiken Deutschlands erahnt werden.

Je nach Szenariokombination und Jahr wurden im Materialflussmodell Stahloutputs zwischen 4.716 t und 6.258 t abgeschätzt. Da es sich um korrosionsbeständigen Stahl handelt, wird näherungsweise ein Schrottpreis von 700 € pro Tonne sowohl für Stahl als auch Edelstahl angenommen (Schrottpreis.org 2018).²⁶ Somit ergibt sich ein Schrottwert zwischen etwa 3,3 Mio. € und knapp 4,4 Mio. € jährlich. Der Aluminiumoutput aus Fahrtreppen beträgt je nach Szenariokombination und Jahr 457 t bis 1.032 t pro Jahr. Bei einem Schrottpreis von ebenfalls um 700 € je Tonne besitzt der jährliche Aluminiumoutput einen monetären Wert zwischen rund 0,3 Mio. € und 0,7 Mio. € (Schrottpreis.org 2018).²⁷

Im Jahr 2016 wurde Stahlschrott (Edelstahl, legierter sowie rostfreier Stahl) von insgesamt rund 1.256,6 Mio. \$ aus Deutschland exportiert und im Wert von 303,6 Mio. \$ importiert (OEC 2017b, 2017c, 2017f, 2017e). Aluminiumschrott wurde im Wert von 1.320 Mio. \$ exportiert und im Wert von 939 Mio. \$ importiert (OEC 2017a, 2017d). Insofern erscheint der Anteil aus Fahrtreppen zunächst vernachlässigbar gering. Die Inputs und Outputs durch Fahrtreppen sind jedoch ein wichtiges Puzzleteil, um die Abschätzung über den insgesamt in Deutschland anfallenden Stahl- bzw. Aluminiumoutput generieren zu können. Dazu müssen Materialflussanalysen in sämtlichen Bereichen mit entsprechendem Output erstellt und aufaddiert werden.

²⁶ Stand: März 2018.

²⁷ Stand: März 2018.

6 Diskussion, Ausblick und Handlungsempfehlungen

Nachdem im vorangegangenen Kapitel das dynamische Materialflussmodell beispielhaft zur Abschätzung der Entwicklung der Inputs, Outputs und Lager von Fahrtreppen in Deutschland sowie den darin gebundenen Rohstoffen Stahl bzw. Edelstahl und Aluminium verwendet wurde, wird abschließend diskutiert, inwiefern es sich für die Ermittlung rückgewinnbarer Rohstoffe aus Gebäudetechnik eignet, welche Hemmnisse bei der Anwendung bestehen und wie diese umgangen oder behoben werden können.

Ebenfalls werden in diesem abschließenden Kapitel allgemeine Handlungsempfehlungen zur Optimierung der Wiedergewinnung von Rohstoffen aus Gebäudetechnik gegeben, welche auf der Analyse des Status quo in Kapitel 3.2 basieren. Daran schließt ein Ausblick auf den bestehenden Forschungsbedarf im Bereich des Urban Mining bei Gebäudetechnik an sowie Möglichkeiten, wie die Ergebnisse dieser Arbeit dafür weiter genutzt werden können.

6.1 Diskussion des dynamischen Materialflussmodells

Das entwickelte dynamische Materialflussmodell beinhaltet alle Betrachtungsebenen und Treiber, die für die Modellierung des Beispiels Fahrtreppen in den untersuchten Gebäudetypen notwendig sind. Weitere Arten von Gebäudetechnik, die im Rahmen von Kapitel 3.1 explorativ untersucht wurden, können ebenfalls umfassend modelliert werden.

Mit dem Modell können zukünftige Inputs, Outputs und Lager von sowohl Gebäudetechnik als auch den darin enthaltenen Rohstoffen abgeschätzt werden. Somit ist es für verschiedene Akteure als Planungsinstrument nutzbar. Hersteller von Gebäudetechnik können den zukünftigen Bedarf nach ihren Produkten abschätzen (Gebäudetechnik Input), Verwerter die anfallenden Mengen an Altgeräten, um entsprechende Investitionen in Anlagen zu tätigen bzw. zu unterlassen (Gebäudetechnik Output). Die Rohstoffoutputs geben ihnen zudem einen Hinweis darauf, mit welchem Rohstoffgewinn aus den Altgeräten zu rechnen ist. Abgesehen davon sind die Inputs und Outputs auf Rohstoffebene für eine Gebäudetechnikart separat betrachtet nicht aussagekräftig, da ihr Anteil am zu erwartenden gesamten Rohstoffbedarf bzw. Sekundärrohstoffaufkommen in Deutschland sehr gering ist (Kapitel 5.8.4). Sollen jedoch langfristig rohstoffstrategische Maßnahmen seitens der Politik entwickelt werden, so müssen entsprechende Abschätzungen für alle Bereiche erstellt werden, die relevante Rohstoffinputs und/oder -outputs erzeugen. Die Ergebnisse des beispielhaften Materialflussmodells für Fahrtreppen sind ein Puzzleteil des zu erforschenden Gesamtbildes.

Gebäude- und standortabhängige Charakteristika der Gebäudetechnik können in das Modell implementiert werden, indem es in Teilmodelle für unterschiedliche Gebäudetypen und ggf. deren Standorte unterteilt wird. Unterschiedliche Rohstoffgehalte durch verschiedene Ausführungen der Geräte (zum Beispiel Kaufhausfahrttreppe und Verkehrsfahrttreppe) oder unterschiedliche Einbaujahre können durch Verwendung spezifischer Rohstoffgehalte für die jeweiligen Anteile der Fahrtreppen berücksichtigt werden. Das Modell kann zudem Rohstoffflüsse aufgrund von Reparaturen berücksichtigen sowie Randbedingungen wie Leerstand zwischen Nutzungsaufgabe und Abbruch bzw. Umnutzung simulieren wie beispielsweise im Teilmodell Warenhäuser.

Bei der Erstellung des Modells sind Annahmen und Prognosen für zukünftige Entwicklungen der Gebäudeebene, der Gebäudetechnikebene sowie der Reparaturzyklen notwendig. Wie die Beobachtung beispielsweise des Neubaus von Einkaufszentren zeigt, erfolgen Entwicklungen von Lagern und Flüssen sowohl der Gebäude als auch der Gebäudetechnik nicht gleichmäßig, sondern schwanken von Jahr zu Jahr oder auch innerhalb von mehrjährigen Zyklen mitunter stark. Dieser Effekt wird stärker, je kleiner die Untersuchungsregion gewählt wird. Neubau, Modernisierung oder Abbruch eines sehr großen Gebäudekomplexes kann dann anteilmäßig so groß sein, dass ein deutlicher Ausschlag für das entsprechende Jahr erkannt wird. Können solche Schwankungen mittel- oder langfristig nicht genau

prognostiziert werden, sollte der angenommene Verlauf der Inputs und Outputs im Materialflussmodell geglättet werden, um keine nicht vorhandene Genauigkeit zu suggerieren. Ebenfalls können einzelne Spitzen, beispielsweise aufgrund einer Flughafenerweiterung, in ein anderes Jahr fallen als auf Grundlage bestehender Planungen angenommen wurde. Die Ergebnisse des Modells müssen vor diesem Hintergrund verwendet werden. Ihre Aussage ist keine jahresgenaue Prognose, sondern eine Tendenz. Sie sollten daher jeweils für einen bestimmten Zeitraum insgesamt interpretiert werden, keinesfalls für spezifische Jahre.

Bezüglich der Geräte- und Rohstoffgehalte muss beachtet werden, dass diese je nach Geräteart möglicherweise nur einen Durchschnittswert angeben und daher keine direkten Rückschlüsse auf ein einzelnes Gebäude bzw. Gerät zulassen. Beträgt der Fahrtreppengehalt innerstädtischer klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren beispielsweise 0,59 Fahrtreppen pro 1.000 m³ Verkaufsfläche, so kann daraus nicht zwangsläufig auf die Anzahl der Fahrtreppen eines spezifischen Einkaufszentrums geschlossen werden, da der individuelle Fahrtreppengehalt deutlich variiert. Die Durchschnittswerte sind daher nur für die Betrachtung einer Gesamtheit an Gebäuden konkret einsetzbar, beispielsweise in einem Materialflussmodell. Die Minima und Maxima des Wertes sowie die Standardabweichung können jedoch einen Hinweis darauf geben, in welcher Größenordnung die Fahrtreppenzahl erwartet werden kann.

Die Verlässlichkeit der Aussagen des Materialflussmodells beruht zum Teil auf der Prognostizierbarkeit der zukünftigen Entwicklung mittels Szenarien. Diese ist vom konkreten Gebäudetyp abhängig und nicht weiter beeinflussbar. Weiterhin beruht die Verlässlichkeit auf den zur Verfügung stehenden Inputdaten wie Rohstoffgehalten, Nutzungsdauern usw. Diese zu erlangen stellte das wesentliche Hemmnis bei der beispielhaften Verwendung des Modells für Fahrtreppen dar. Im Fall der Rohstoffgehalte sind die benötigten Daten Wissenskapital der Industrie. Trotz Zusicherung von Vertraulichkeit und einer Verwendung, welche keine Rückschlüsse auf einzelne Unternehmen bzw. Produkte zulässt, besteht seitens der Hersteller und der Verwerter nur wenig Bereitschaft zur Herausgabe von Daten für die wissenschaftliche Forschung (siehe Kapitel 5.1.4). Dieses Problem wurde auch im Rahmen anderer Studien im Bereich Urban Mining bestätigt (Mrotzek-Blöß et al. 2015). Im Rahmen dieser Arbeit traten auch bei der Datensammlung von Betreibern der Gebäudetechnik einzelne Hemmnisse auf. Anfragen zur betriebenen Anzahl der Geräte, zu Wartungsintervallen und Nutzungsdauern etc. wurden in vielen Fällen abgewiesen. Genannte Gründe dafür sind Sicherheitsbedenken, die Wahrung von Betriebsgeheimnissen, der Zeit- und damit Kostenaufwand für die Bearbeitung der Anfrage sowie negative Erfahrungen mit studentischen Arbeiten (BVG Kundenservice 2017; C&A Retail 2017; Schefenacker 2017). Nicht alle der genannten Gründe waren nachvollziehbar, zumal die gesuchte Information teilweise durch intensive Recherche auf anderem Wege ermittelt werden konnte bzw. von anderen Betreibern der gleichen Branche problemlos bereitgestellt wurde.

Dieses Hemmnis tritt möglicherweise nicht auf, wenn andere Randbedingungen für die Untersuchung vorliegen. So können beispielsweise Hersteller und Betreiber direkt in ein Forschungsprojekt involviert werden und dadurch Vorteile wie eine Vergütung des Aufwandes zur Bereitstellung ihrer Daten erhalten. Das Beispiel der BVG in Kapitel 4.2.3 zeigt, dass auch eine offizielle Anfrage seitens des Abgeordnetenhauses Türen öffnet, die kleineren Forschungsprojekten wie diesem verschlossen bleiben. Sind jedoch auch mithilfe solcher Maßnahmen keine Daten zu erhalten, so müssen Annahmen getroffen werden, welche das Risiko für Ungenauigkeiten erhöhen. In Anbetracht der Tatsache, dass die Genauigkeit der Rohstoffgehalte sich wesentlich auf die Genauigkeit der Ergebnisse des Modells auswirkt (siehe Kapitel 5.8.4), sollte dies mit besonders hoher Sorgfalt geschehen.

Unabhängig von der Datenverfügbarkeit müssen auch Umfang und Detaillierungsgrad des Modells festgelegt werden. Sind sie sehr hoch, so kann je nach Gebäude- bzw. Gerätetyp die empirische Ermittlung der durchschnittlichen Geräte- und Rohstoffgehalte sowie auch die Ausarbeitung von Szenarien sehr arbeitsintensiv werden. Es ist daher zu überprüfen, welcher Umfang und Detaillierungsgrad für die Beantwortung der Fragestellung notwendig, hinsichtlich der zur Verfügung

stehenden Mittel machbar sowie für die gewonnene Information vom Aufwand her vertretbar ist. Das dynamische Materialflussmodell ermöglicht diesbezüglich sowohl überschlägige Schätzungen von Größenordnungen als auch detaillierte Stoffstromberechnungen. Für die Verwendung mit elektronischen Komponenten ist es aufgrund des hohen Aufwands und hoher Unsicherheiten bei der Ermittlung der Rohstoffgehalte im Verhältnis zur geringen wirtschaftlichen Motivation zur Rohstoffrückgewinnung derzeit und vermutlich auch mittelfristig größtenteils noch nicht zu empfehlen (siehe Kapitel 3.1.3 und 3.2.2.1). Die Berechnung von Kupfer zeigt jedoch, dass auch Rohstoffe mit geringerer Masse im Gerät ermittelt werden können, sofern ein Rohstoffgehalt verfügbar ist. Denkbar ist daher beispielsweise eine Berechnung von Neodym aus Permanentmagneten von Aufzugmotoren, da für den benötigten Rohstoffgehalt eine Näherung über die benötigte Motorleistung möglich ist.

Die Nutzbarkeit des dynamischen Materialflussmodells ist eingeschränkt, sobald für das Vorhandensein von Gebäudetechnik weder Werte vorhanden sind, noch eine Systematik erkennbar ist, aus der heraus eine Hochrechnung erfolgen kann. Im Berechnungsbeispiel betrifft dies die Gruppe der „unbekannten“ Fahrtreppen in beispielsweise Überführungen, individuellen Einzelhandelsgeschäften oder an Orten, an denen das Vorhandensein von Fahrtreppen kein Standard ist (siehe Kapitel 5.7 und 5.8). In einem solchen Fall kann annäherungsweise ein Top-down-Wert oder eine Schätzung der Gesamtzahl an Geräten verwendet werden. Für die Eigenschaften dieser Geräte wie Einbaujahre, Nutzungsdauern, Rohstoffgehalte etc. müssen Annahmen auf Grundlage von explorativen Untersuchungen und/oder bekannten Geräten in bereits untersuchten Teilmodellen getroffen werden. Dies erhöht die Unsicherheiten des Modells wesentlich, gibt aber zumindest Größenordnungen oder durch Minimum und Maximum eingrenzbare Bereiche an, in denen die Flüsse und Lager der Geräte bzw. Rohstoffe zu verorten sind.

6.2 Handlungsempfehlungen zur Optimierung der Verwertung bzw. Wiederverwendung

Ausgehend von der Analyse des Status quo der Rohstoffrückgewinnung werden nachfolgend Hinweise gegeben, welche Maßnahmen zur Optimierung denkbar sind.

6.2.1 Praxis der Rohstoffrückgewinnung

Urban Mining von Gebäudetechnik kann aus verschiedenen Intentionen geschehen, beispielsweise zur Verringerung von Umweltbelastungen, zum Schutz natürlicher Ressourcen, aus ökonomischen Gründen, um Unabhängigkeit von Zuliefererländern bestimmter Rohstoffe zu erlangen oder schlicht zur Erfüllung bestehender politischer Ziele. Das zum Stand dieser Arbeit aus der Analyse des Status quo zu ziehende Fazit ist, dass insbesondere für Geräte mit einer hohen Materialvielfalt zwischen diesen Intentionen zahlreiche Zielkonflikte zu finden sind und daher keine umfassende und aus allen Gesichtspunkten optimale Handlungsstrategie möglich ist. Je nach Intention müssen andere Rohstoffe zurückgewonnen und andere Rückgewinnungsgrade und -methoden verwendet werden.

Steht vor allem die Verminderung von Umweltbelastungen im Fokus, so besteht das größte Hemmnis derzeit in der Differenz zwischen dem ökonomischen und ökologischen Optimum des Recyclings. Es ist bei Geräten mit höherer Materialvielfalt davon auszugehen, dass das ökonomische Optimum bei deutlich niedrigeren Rückgewinnungsgraden liegt als das ökologische. Dies führt zum in Kapitel 3.2.2 beschriebenen „Rosinenpicken“, bei dem das bestehende ökologische Potenzial der Rückgewinnung nicht vollständig ausgenutzt wird. Daher müssen Maßnahmen entwickelt werden, welche eine Erhöhung des Rückgewinnungsgrads wirtschaftlich machen. Dies kann beispielsweise über Subventionen geschehen. Wie ebenfalls in Kapitel 3.2.2 erläutert, kann das von Marktpreisen der Primärrohstoffe abhängige ökonomische Optimum kurzfristig sehr stark schwanken. Die zu schließende bzw. zu verkleinernde Lücke zwischen den Optima ist daher über die Zeit gesehen unterschiedlich groß. Maßnahmen wie Subventionen müssen daher flexibel und schnell an eine neue Marktlage anpassbar sein, möglicherweise indem sie abhängig von den Marktpreisen dynamisch berechnet werden. Dynamische Subventionen erlauben auch eine langfristige wirtschaftliche

Kalkulation, um das Investitionsrisiko neuer Recyclinganlagen zu senken und somit die Infrastruktur für die Rohstoffrückgewinnung auszubauen.

Subventionen stammen jedoch nicht aus einer unlimitierten Geldquelle und sollten daher nur nach sorgfältiger Abwägung verwendet werden. Es muss überprüft werden, wie groß der durch diese Maßnahme erzielbare Umweltnutzen tatsächlich ist, beispielsweise durch Quantifizierung mit Umweltbelastungspunkten. Dies muss mit dem Umweltnutzen anderer Maßnahmen, möglicherweise auch in anderen Bereichen wie dem Schutz der Biodiversität oder dem Klimaschutz verglichen werden, um die Sinnhaftigkeit der Maßnahme zu ermitteln und die Entscheidung dafür oder dagegen zu rechtfertigen.

Der Schutz natürlicher Ressourcen ist nicht automatisch gleichbedeutend mit der Verminderung von Umweltbelastungen. Wie in Kapitel 3.2.2, Abbildung 3-4 auf Seite 21 dargestellt, gibt es beim Recycling eines Produkts einen Rückgewinnungsgrad, ab welchem die weitere Rückgewinnung des Rohstoffs höhere Umweltbelastungen erzeugt als durch die Förderung aus Primärquellen entstehen würden. Ist dieser Rohstoff dennoch besonders knapp oder schützenswert oder möchte man sich aus der Abhängigkeit des Zuliefererlandes befreien, so müssen ggf. hohe Recyclingkosten und höhere Umweltbelastung in Kauf genommen werden.

Stehen hauptsächlich ökonomische Interessen im Vordergrund der Bemühungen, so ist kurz- bis mittelfristig das Recycling mit dem Rückgewinnungsgrad des ökonomischen Optimums die zu bevorzugende Lösung. Entsprechend wird derzeit auch verfahren. Von Experten wird jedoch befürchtet, dass die Verfügbarkeit verschiedener Rohstoffe zukünftig stark sinken wird und ihre derzeit niedrigen Marktpreise über dieses Problem hinwegtäuschen (Bütikofer 2016; Goldmann 2016). Langfristig gesehen entwickelt sich daher möglicherweise gerade die derzeitige wirtschaftliche Handlungsweise des „Rosinenpickens“ in einen großen Nachteil für die Wirtschaft.

Für das Recycling von Komponenten mit hoher Materialvielfalt wie elektronischen Komponenten der Gebäudetechnik ist außerdem Unkenntnis über die Rohstoffgehalte ein wesentliches Hemmnis sowohl für die Abschätzung der Rohstoffflüsse als auch für den Recyclingprozess. Da sie auch innerhalb einer Produktserie veränderlich sind (siehe Kapitel 3.1.2), müssten Rohstoffe und ihre Einbaupositionen direkt auf den Komponenten vermerkt werden. Da Hersteller in der Regel Bauteile nach ihrer Funktion einkaufen und über die Rohstoffgehalte nicht informiert sind, müssten wiederum ihre Zulieferer verpflichtet werden, zu jedem Bauteil dessen Rohstoffgehalte anzugeben. Die Information könnte beispielsweise durch einen QR-Code oder durch besondere Farbcodierungen der einzelnen Bauteile gespeichert werden und wäre damit von Recyclinganlagen automatisiert erfassbar und in die entsprechenden Stoffgruppen zerlegbar. Eingesparte Zeit und Automatisierung erhöhen den Rückgewinnungsgrad, der ökonomisch möglich ist. Seitens der Hersteller ist hinsichtlich dieser Handlungsempfehlung jedoch mit Widerstand zu rechnen, da sie zum einen Arbeitsaufwand bedeutet, zum anderen die Rohstoffgehalte von den Herstellern als hochsensible Information betrachtet werden.

Eine Maßnahme, um derzeit kein unwirtschaftliches Recycling betreiben zu müssen, die rückgewinnbaren Rohstoffe aber nicht zu verlieren, wäre ein gezieltes und strukturiertes Deponieren der Altgeräte bzw. der beim Recyclingprozess zurückbleibenden Teile, um später bei Bedarf darauf zurückgreifen zu können und den Rückgewinnungsgrad weiter zu erhöhen. Diese Maßnahme würde, wenn auch erst zu einem späteren Zeitpunkt, ebenfalls Umweltbelastungen vermeiden. Sie wurde von (Kiefhaber 2015) im Forschungsprojekt Projekt „e recmet“ für Elektroschrott vorgeschlagen und ist auf elektronische Komponenten aus Gebäudetechnik übertragbar.

6.2.2 Verortung und Potenzialabschätzung der Rohstoffe

Um Informationen über Art und Menge der verbauten Rohstoffe in Gebäuden zu erhalten, werden im Forschungsbereich Urban Mining Gebäude- bzw. Ressourcenpässe für Neubauten empfohlen. Diese können auch direkt im Rahmen des Building Information Modeling (BIM) entstehen, bei dem ein 3D-Modell des Gebäudes entwickelt wird und Informationen zu Anzahl und Material der jeweiligen

Bauteile hinterlegt werden können. Dabei kann auch Gebäudetechnik aufgenommen werden. Aufgrund der langen Lebensdauer von Gebäuden gibt es eine deutliche Zeitverzögerung, bis für abzubrechende Gebäude die heute eingeführten Pässe bzw. das BIM vorliegen. Es ist jedoch fraglich, ob und wie die Informationen aus allen einzelnen Gebäudepässen gebündelt für eine Materialflussberechnung einer Region oder Deutschlands zur Verfügung gestellt werden, da sowohl Gebäudepässe als auch BIM-Unterlagen derzeit beim Eigentümer der Gebäude als Bauunterlagen verbleiben. Um für das Urban Mining relevante Vorteile zu bieten, müssten Daten zu Art, Masse und Rohstoffgehalten der Bauteile an eine zentrale Stelle gemeldet und aktuell gehalten werden. Für Gebäudetechnik müssten zudem das Einbaujahr angegeben sowie die Informationen nach Geräte austausch, -zubau oder -abbau aktualisiert werden. Es ist fraglich, ob einerseits der dafür notwendige Verwaltungsaufwand durch den Erkenntnisgewinn zu rechtfertigen ist, andererseits ob er von Gebäudeeigentümern erwartet werden kann und diese ihre Informationen tatsächlich regelmäßig aktualisieren.

6.2.3 Wiederverwendung von Gebäudetechnik

Die Wiederverwendung von Gebäudetechnik ist trotz ihrer ökologischen Vorzüge derzeit eher eine Randerscheinung bei einzelnen Arten von Geräten. Aus ökonomischer Sicht bietet sie besonders für Gebäudeeigentümer Vorteile. Aufgrund der geringen Nachfrage an Altgeräten ist jedoch das Angebot gering, was wiederum dazu führt, dass seitens der Nachfragenden eher auf einfacher und schneller zu beschaffende Neugeräte zurückgegriffen wird. Um diese „Startschwierigkeiten“ trotz der bestehenden bundesweiten Verknüpfung von Bauteilbörsen im bauteilnetz Deutschland zu überwinden, sollten die vorhandenen Anlaufstellen für wiederzuverwendende Altgeräte besser publik gemacht werden. Beispielsweise kann die öffentliche Hand als Vorbild beim Neu- und Rückbau öffentlicher Gebäude prinzipiell Bauteilbörsen nutzen; ebenfalls ist denkbar, dass Gebäudeeigentümer im Rahmen von Bauanträgen automatisch Informationsbroschüren erhalten.

Auch technisch veraltete oder für Neubauten nicht mehr zugelassene Gebäudetechnik kann über Bauteilbörsen noch Ersatzteile für alte Bestandsgeräte liefern. Durch Vermeidung des Austauschs eines defekten Geräts kann Abfall vermieden werden, es wird kein neu hergestelltes Gerät benötigt. Beim Beispiel Fahrtreppen sind möglicherweise Ersatzteile für ältere Modelle, welche derzeit zu hohen Kosten speziell angefertigt werden müssen, aus Altgeräten verfügbar. Dies liegt nicht im ökonomischen Interesse der Hersteller von Gebäudetechnik, bietet jedoch aus Sicht des Umwelt- und Ressourcenschutzes Vorteile. Für Bauteilbörsen ist es ratsam, eng mit Betrieben und Verbänden von Gewerken zusammen zu arbeiten, welche einen Überblick sowohl über benötigte Ersatzteile als auch über Altgeräte haben, welche als Ersatzteilstender infrage kommen.

Auch für elektronische Komponenten ist anstelle einer stofflichen Verwertung die Wiederverwendung der Komponenten oder auch einzelner Bauteile daraus möglich. Während die Rückgewinnung der einzelnen Rohstoffe aufgrund der in Kapitel 3.2.2 erläuterten Problematik größtenteils unwirtschaftlich ist, erübrigt sich durch Wiederverwendung der Komponenten sowohl die Verortung der Rohstoffe als auch der Recyclingprozess sowie die erneute Herstellung der Komponente. Jedoch müssten dafür die Komponenten auf Funktionstüchtigkeit überprüft bzw. in ihre einzelnen Bauteile zerlegt werden. Dieser Arbeitsaufwand verursacht wiederum wesentliche Kosten, sodass dieses Verfahren zunächst nur für sehr hochwertige Komponenten wirtschaftlich ist.

6.3 Möglichkeiten zur Weiterverwendung dieser Arbeit und Ausblick

Mithilfe des dynamischen Materialflussmodells wurden im Rahmen dieser Arbeit lediglich beispielhaft die Flüsse und Lager der Fahrtreppen verschiedener Gebäudetypen Deutschlands und ihrer Rohstoffe Stahl, Aluminium sowie Kupfer abgeschätzt. Zahlreiche weitere Arten der Gebäudetechnik bedürfen noch einer Untersuchung, für welche das in dieser Arbeit erstellte Modell verwendet werden kann.

In den in dieser Arbeit untersuchten Gebäudetypen sind weitere Arten der Gebäudetechnik zu erwarten, welche hochwertige Rohstoffe in teils großen Mengen enthalten. Einkaufszentren und Warenhäuser beispielsweise verfügen unter anderem über Aufzüge, Anlagen zur Regulierung von

Lüftung und Wärme sowie zunehmend über elektronische Geräte wie Touchscreens zur Kundeninformation (Sawatzki 2017). Hierzu können die Gebäudeebenen der Teilmodelle dieser Arbeit weiterverwendet werden, indem an diese die Gebäudetechnikebenen genannter Gebäudetechnikarten modelliert werden.

Das Materialflussmodell kann zudem verwendet werden, um die Arten und Mengen von in Gebäudetechnik verbauten Gefahrenstoffen wie beispielsweise Asbest oder PVC zu ermitteln. Dies ermöglicht unter anderem eine Abschätzung, bis wann noch mit dem Vorkommen der jeweiligen Stoffe und der Notwendigkeit ihrer fachgerechten Entsorgung beim Rückbau gerechnet werden muss.

Hinsichtlich des Status quo der Rohstoffrückgewinnung lässt sich feststellen, dass überwiegend ein dem ökonomischen Optimum entsprechendes Recycling stattfindet, da der Markt im Normalfall wirtschaftliche Potenziale von selbst erkennt und nutzt. Kurz- bis mittelfristig ist nicht damit zu rechnen, dass das ökonomische Optimum sich in Richtung höherer Rückgewinnungsgrade verschiebt. Vor allem bei Komponenten mit hoher Materialvielfalt wie Elektronik wird daher auch weiterhin ein hohes ökologisches Potential ungenutzt bleiben. Es obliegt daher der Politik, Maßnahmen zu ergreifen um das Recycling hinsichtlich anderer Aspekte wie Umwelt- oder Ressourcenschutz zu optimieren und um die Rohstoffverfügbarkeit für die Industrie auch langfristig zu sichern.

A. Anhang

A1. Entwicklung des Onlinehandels als Konkurrenz für Einkaufszentren und Warenhäuser

In der nahen Vergangenheit entwickelte sich der Onlinehandel (auch: e-commerce) zu einer deutlichen Konkurrenz für den sogenannten stationären Handel, d.h. Handel von einem festen Platz aus. Der Onlinehandel erzeugte 2016 rund 13% des gesamten Einzelhandelsvolumens in Deutschland (Bundesverband E-Commerce und Versandhandel e.V. 2017b). Klammert man den Bereich der Lebensmittel aus, so hatte der Onlinehandel bereits im Jahr 2014 einen Anteil von 15,3% am deutschen Gesamtwarenumsatz. Er ist dabei vor allem in den Bereichen Technik und Medien (2014 ein Online-Anteil von 20,9%), Bekleidung (18,9%) sowie Sport und Freizeit (20,2%) stark vertreten (Doplbauer 2015). Dies sind Warengruppen, die vor allem für Einkaufszentren und Warenhäuser wirtschaftlich relevant sind. Die weitere Entwicklung des Onlinehandels als Konkurrent ist daher bedeutend für die zukünftige wirtschaftliche Situation der Einkaufszentren und Warenhäuser und damit auch für die Anzahl der Eröffnungen, Schließungen sowie Modernisierungen.

In Abbildung 6-1 ist die Entwicklung des online generierten Umsatzes durch Waren und Dienstleistungen von 1999 bis 2016 sowie eine Prognose für 2017 dargestellt. Im Jahr 2016 machte der Warenumsatz rund 79% des insgesamt online generierten Umsatzes aus (Bundesverband E-Commerce und Versandhandel e.V. 2017a). Diese Größenordnung wird vereinfachend auch für die anderen Jahre angenommen.

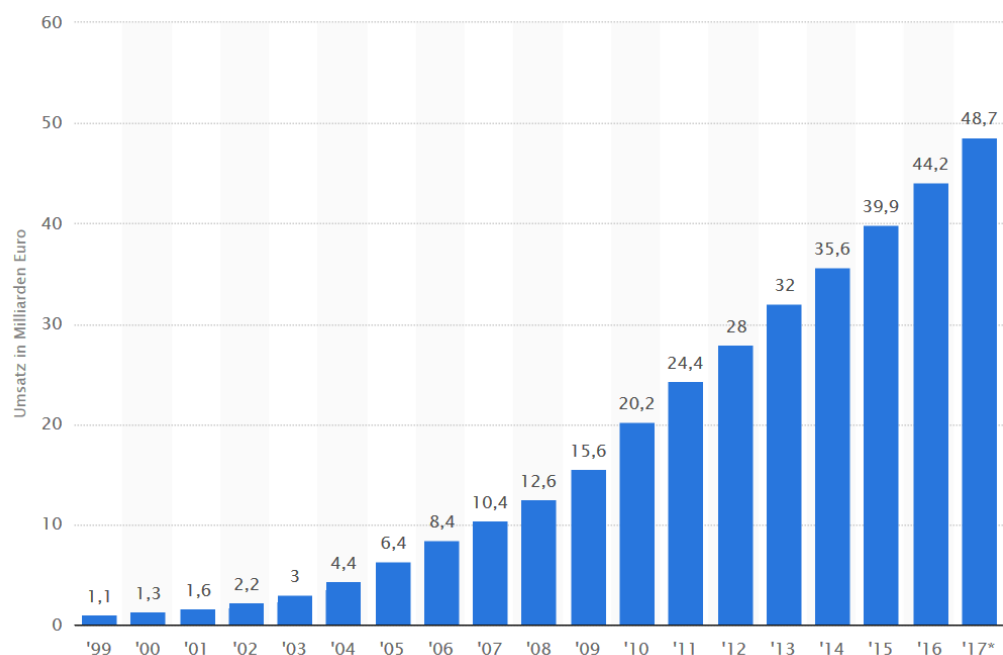


Abbildung 6-1: Umsatz des Onlinehandels in Deutschland von 1999 bis 2016 in Milliarden Euro sowie Prognose für 2017, ohne Umsatzsteuer, inklusive Dienstleistungen, Abbildung aus: (statista 2017b).

Der Warenumsatz des Onlinehandels wuchs im betrachteten Zeitraum stetig. Im Jahr 2016 stieg er um 12,5%, für 2017 wird ein Wachstum von 11% erwartet (Bundesverband E-Commerce und Versandhandel e.V. 2017b).

Eine Koexistenz von Onlinehandel und stationärem Einzelhandel ist nach Ansicht der Experten auch zukünftig möglich, obwohl teilweise erwartet wird, dass seitens des stationären Handels Anpassungen notwendig sind (Müller 2016c, 2016h; Austrup 2017). Experten reden von einer „Integration der Verkaufskanäle“ bzw. „Multi-Channeling“, d.h. einer Vermischung von Onlinehandel und stationärem Handel. Stationäre Einzelhändler betreiben dazu parallel Onlineshops und verknüpfen diese mit ihrer lokalen Filiale, beispielsweise indem die Kunden im Geschäft auf Tablets auf den Onlineshop zugreifen

können oder Onlinebestellungen in das Geschäft geliefert werden (Müller 2016c). Die Warenhausketten Kaufhof und Karstadt haben bereits ihre Onlineshops mit dem Filialnetz verknüpft. Bei beiden ist es möglich, sich zu einem Artikel im Onlineshop die Verfügbarkeit in einer Filiale anzeigen zu lassen, wobei direkt oder mittels Klick die Öffnungszeiten und Kontaktmöglichkeiten der Filialen angegeben werden. Lieferungen aus dem Onlineshop in eine Filiale sind versandkostenfrei. Umgekehrt wird auch versucht, die Kunden durch Werbung am Ausgang einer Filiale auf den Onlineshop aufmerksam zu machen. Wiederum lassen sich auch größere Onlinehändler in lokalen Filialen nieder oder kooperieren mit bestehendem stationärem Handel der gleichen Produktparte (Handelsjournal 2017).

Viele Experten fordern auch seitens der Politik faire Wettbewerbsbedingungen hinsichtlich Ladenöffnungszeiten, Sortimentsbeschränkungen, und Planungsrecht, um wesentliche Nachteile des stationären Einzelhandels auszugleichen, sowie zusätzliche Umweltauflagen für Onlinehändler (Müller 2016c, 2016h; German Council Magazin 2016c).

Das Marktforschungsinstitut GfK geht zudem davon aus, dass für bestimmte Warengruppen eine Sättigung eintreten wird (Doplbauer 2015). So ist beispielsweise bei Büchern der Onlineanteil bereits so hoch, dass keine nennenswerte Steigerung mehr zu erwarten ist. Auch im Bereich der Technik und Medien verlangsamte sich das Wachstum bereits. Zudem bietet der stationäre Handel Vorteile, welche online nur schwer nachgerüstet werden können, darunter vor allem das Einkaufen als Erlebnis und mit der Möglichkeit, die Produkte anzufassen und an- bzw. auszuprobieren. Insgesamt wird der Anteil des Onlinehandels aber auch in dieser Prognose als wachsend angesehen und für 2025 auf rund 15% des Gesamtwarenumsatzes prognostiziert, wie in Abbildung 6-2 dargestellt.

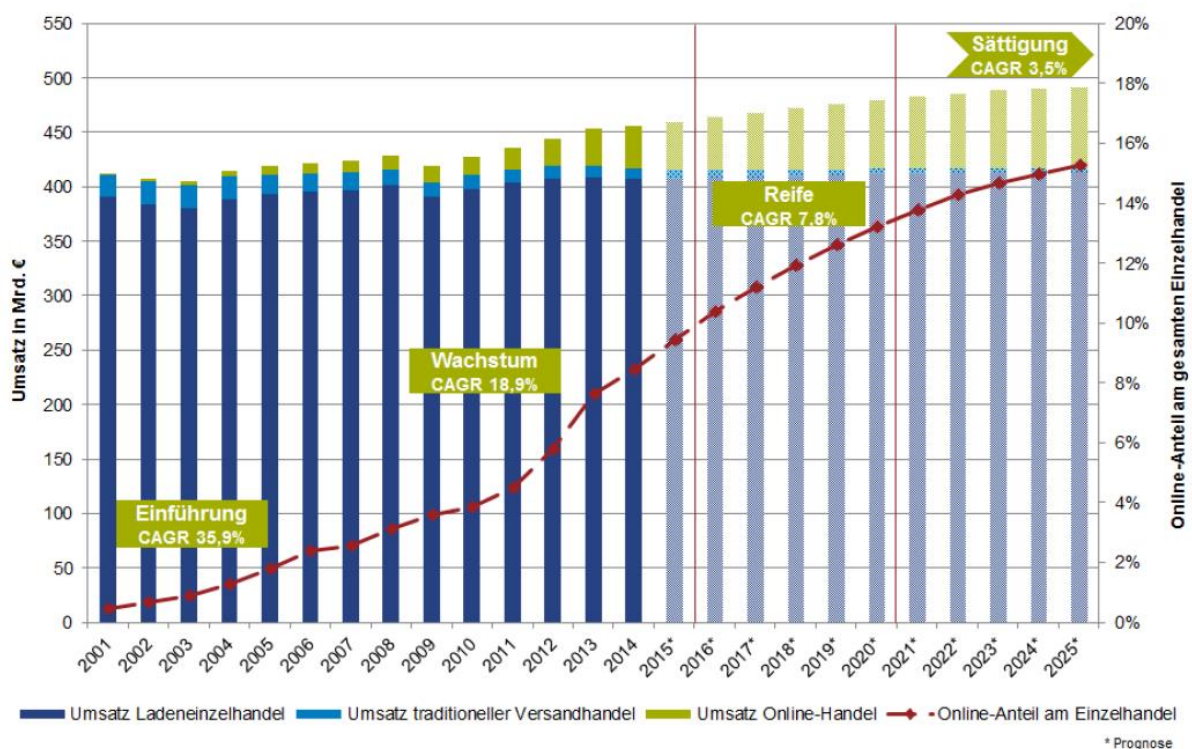


Abbildung 6-2: Verlauf und Prognose der Entwicklung des Einzelhandels, aufgeschlüsselt nach stationärem Einzelhandel, Versandhandel und Onlinehandel von 2001 bis 2025, Abbildung aus: (Doplbauer 2015).

Werden Lebensmittel ausgeklammert, so wird ein Anteil von 25% erwartet. Insgesamt soll der Onlinehandel danach jedoch in eine Sättigung gehen und der Warenumsatz nur noch um ca. 3,5% pro Jahr wachsen. Der Umsatz des stationären Einzelhandels wird wie in der Abbildung zu erkennen jedoch als ungefähr gleichbleibend prognostiziert. Daraus kann geschlossen werden, dass der

Onlinehandel in dieser Prognose keine Verdrängung der Warenhäuser und Einkaufszentren mehr darstellt, sondern maximal das gesamte Wachstum des Warenumsatzes für sich vereinnahmt.

Der Onlinehandel beeinflusst die Gebäudetechnik der stationären Einzelhandelsgeschäfte durch die durch ihn geförderten Veränderungen und Investitionen im stationären Handel. Bei Investitionen zur Steigerung der Attraktivität der Geschäfte werden nicht zwangsläufig neue Fahrtreppen benötigt, oft jedoch neuartige Gebäudetechnik wie zum Beispiel Touchscreendisplays verbaut. Es wird damit gerechnet, dass sich Renovierungszyklen verkürzen, d.h. zukünftig auch Gebäudetechnik häufiger ausgetauscht wird (Handelsjournal 2016a).

A2. Eingangsdaten verschiedener Annahmen und Berechnungen der Teilmodelle

A2.1 Übersicht der Fahrtreppen je Altersklasse in Warenhäusern

Tabelle A-1: Fahrtreppen je Altersklasse der ältesten Fahrtreppe einer Warenhausfiliale

Altersklasse	Fahrtreppen in Stück	Fahrtreppen in Stück pro Jahr
1965 - 1969	220	44
1970 - 1974	440	88
1975 - 1979	160	32
1980 - 1984	80	16
1985 - 1989	220	44
1990 - 1994	370	74
1995 - 1999	375	75
2000 - 2004	285	57
2005 - 2009	260	52
2010 - 2014	415	83
2015 - 2017	237	79

A2.2 Anzahl, Ebenen und Mietflächen des Bestands an Einkaufszentren

Tabelle A-2: Übersicht über Anzahl der Zentren, Ebenen und Mietflächen des Bestands an Einkaufszentren im Basisjahr 2016, teils differenziert nach alten und neuen Bundesländern

Untertyp	Anzahl Einkaufszentren			Anzahl Ebenen			Mietfläche (in 1.000 m ²)					neue BL gesamt
	gesamt	alte BL	neue BL	min	max	MW	min	max	MW	gesamt	alte BL gesamt	
klassisches Einkaufszentrum	299	230	69	1	7	2,3	9,0	115,0	25,3	7.557	5.730	1.827
Grüne Wiese	25	11	14	1	5	1,8	10,0	95,6	35,4	885	349	536
Innenstadt	171	137	34	1	7	2,6	9,0	76,0	22,1	3.778	3.080	699
Stadtteil	103	82	21	1	5	2,1	9,4	115,0	28,1	2.894	2.301	593
multifunktionales Einkaufszentrum	94	79	15	1	5	2,3	9,5	120,0	25,6	2.410	2.050	361
Grüne Wiese	4	2	2	1	2	1,5	21,8	115,6	50,3	201	137	64
Innenstadt	63	54	9	1	5	2,4	9,5	44,0	20,3	1.277	1.074	203
Stadtteil	27	23	4	1	4	2,3	9,8	120,0	34,5	932	838	94
Fachmarktzentrum	89	54	35	1	3	1,3	10,0	120,0	26,8	2.383	1.289	1.094
Grüne Wiese	43	22	21	1	3	1,3	13,1	110,0	30,8	1.326	657	669
Innenstadt	13	12	1	1	3	1,7	10,0	34,0	16,8	219	188	31
Stadtteil	33	20	13	1	3	1,3	11,5	61,9	25,4	839	444	395
Hybrid-Center	9	4	5	1	3	1,8	11,5	59,2	35,5	320	81	239
Grüne Wiese	2	0	2	1	2	1,5	54,6	58,0	56,3	113	0	113
Innenstadt	2	2	0	2	2	2,0	11,5	17,0	14,2	28	28	0
Stadtteil	5	2	3	1	3	1,8	12,4	59,2	35,7	179	52	126
Alle Untertypen	491	367	124	1	7	2,2	9,0	120,0	25,8	12.670	9.150	3.521
Grüne Wiese	74	35	39	1	5	1,5	10,0	115,6	34,1	2.524	1.144	1.381
Innenstadt	249	205	44	1	7	2,5	9,0	76,0	21,3	5.303	4.371	932
Stadtteil	168	127	41	1	5	2,0	9,4	120,0	28,8	4.843	3.635	1.208

Legende: BL: Bundesländer, min: Minimum, max: Maximum, MW: Mittelwert

Quellen: Daten aggregiert aus (EHI Retail Institute e.V. 2016b)

A2.3 Aufsummierung der Fahrtreppen in Bahnstationen

Für DB und SSB konnten keine Verteilungen der Einbaujahre ermittelt bzw. abgeschätzt werden. Sie wurden nach der Verteilung der Einbaujahre aller anderen Betreiber annähernd berechnet.

Tabelle A-3: Anzahl und Einbaujahre der Fahrtreppen in Bahnstationen

	DB	BVG	ÜSTRA	Hochbahn	MVG	VGf	VAG	spurwerk	SSB	Summe
Anzahl Fahrtreppen	997	364	114	209	771	270	190	1022	103	4.040
Abbau pro Jahr		1		1 bis 2025	0,5			1 bis 2022		3 bis 2022, 2 bis 2025, danach 1
Zubau pro Jahr				1 bis 2030						1 bis 2030
Einbaujahre										
1979	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,1	3
1980	14,0	18,2	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	0,0	1,4	57
1981	6,5	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,7	26
1982	9,2	18,2	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	1,0	37
1983	7,9	18,2	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,8	32
1984	7,5	18,2	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,8	31
1985	6,2	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	25
1986	22,4	18,2	0,0	0,0	0,0	44,0	4,0	0,0	2,3	91
1987	30,0	18,2	0,0	6,0	31,0	12,0	4,0	17,3	3,1	122
1988	34,9	18,2	0,0	7,0	31,0	0,0	9,0	37,8	3,6	142
1989	33,2	18,2	0,0	7,0	31,0	0,0	4,0	37,8	3,4	135
1990	33,2	18,2	0,0	7,0	24,8	0,0	10,0	37,8	3,4	134
1991	33,2	18,2	8,0	7,0	24,8	0,0	2,0	37,8	3,4	134
1992	34,2	18,2	8,0	7,0	24,8	5,0	0,0	37,8	3,5	138
1993	34,5	18,2	8,0	7,0	24,8	0,0	6,0	37,8	3,6	140
1994	32,5	18,2	8,0	7,0	24,8	0,0	0,0	37,8	3,4	132
1995	33,8	18,2	8,0	7,0	24,8	0,0	4,0	37,8	3,5	137
1996	33,3	14,6	8,0	7,0	24,8	0,0	6,0	37,8	3,4	135
1997	32,6	14,6	8,0	7,0	24,8	0,0	4,0	37,8	3,4	132
1998	37,0	14,6	8,0	7,0	24,8	0,0	17,0	37,8	3,8	150
1999	37,0	14,6	8,0	7,0	24,8	5,0	12,0	37,8	3,8	150
2000	31,2	14,6	8,0	7,0	24,8	0,0	0,0	37,8	3,2	127
2001	32,1	0,0	2,0	7,0	24,8	21,0	2,0	37,8	3,3	130
2002	24,9	0,0	0,0	7,0	24,8	0,0	4,0	37,8	2,6	101
2003	27,7	0,0	0,0	7,0	24,8	8,0	4,0	37,8	2,9	112
2004	28,3	0,0	0,0	7,0	24,8	6,0	8,0	37,8	2,9	115
2005	30,4	0,0	0,0	7,0	24,8	9,0	11,0	37,8	3,1	123
2006	25,0	0,0	0,0	7,0	25,0	0,0	4,0	37,8	2,6	101
2007	32,8	0,0	0,0	7,0	25,0	14,0	13,0	37,8	3,4	133
2008	33,8	0,0	0,0	7,0	25,0	18,0	12,0	37,8	3,5	137
2009	24,6	0,0	0,0	7,0	25,0	6,0	6,0	28,7	2,5	100
2010	26,0	0,0	8,0	7,0	25,0	0,0	8,0	28,7	2,7	105
2011	39,2	0,0	8,0	7,0	25,0	41,0	6,0	28,7	4,1	159
2012	33,2	0,0	8,0	7,0	25,0	16,0	12,0	30,0	3,4	135
2013	25,4	0,0	8,0	7,0	25,0	5,0	0,0	30,0	2,6	103
2014	22,7	0,0	0,0	7,0	25,0	4,0	1,0	30,0	2,3	92
2015	20,8	0,0	0,0	7,0	25,0	4,0	8,0	17,3	2,1	84
2016	24,9	0,0	0,0	7,0	32,0	9,0	8,0	17,3	2,6	101

Legende: orange: Annahme analog zur Verteilung bei den übrigen Betreibern

Quellen: siehe Kapitel 5.4.1

A2.4 Aufsummierung der Fahrtreppen in Verkehrsflughäfen

Für Münster/Osnabrück werden die Flughäfen Dresden, Nürnberg und Leipzig/Halle für die Abschätzung der Fahrtreppenzahl verwendet, für Berlin-Schönefeld die Flughäfen Nürnberg, Leipzig/Halle, Frankfurt-Hahn und Hannover-Langenhagen, für Stuttgart die Flughäfen Berlin-Tegel, Köln-Bonn und Hamburg sowie für Berlin Brandenburg (BER) die Flughäfen Hamburg und Düsseldorf. Für Frankfurt am Main wird der Fahrtreppengehalt des Flughafens München hochgerechnet.

Tabelle A-4: Übersicht der ermittelten bzw. geschätzten Fahrtreppen auf internationalen und regionalen Flughäfen Deutschlands

Name des Flughafens	Kapazität in 1.000 PAX	Fahrtreppen in Stück	Fahrtreppen in Stück je 1 Mio. PAX
Neubrandenburg	100	0	0
Rostock-Laage	200	1	5.000
Sylt	300	0	0
Friedrichshafen	600	0	0
Kassel-Calden	700	0	0
Saarbrücken	700	0	0
Erfurt-Weimar	800	0	0
Karlsruhe/Baden-Baden	1.500	0	0
Memmingen	2.000	0	0
Dortmund	2.500	6	2.400
Niederrhein (Weeze)	2.500	0	0
Dresden	3.500	8	2.286
Münster/Osnabrück	4.000	5	1.262
Nürnberg	4.000	6	1.500
Leipzig/Halle	4.500	0	0
Frankfurt-Hahn	5.000	0	0
Berlin-Schönefeld	7.000	4	594
Hannover-Langenhagen	8.000	7	875
Berlin-Tegel	12.000	2	167
Köln/Bonn	14.000	0	0
Stuttgart	14.000	8	597
Hamburg	16.000	26	1.625
Berlin Brandenburg	22.000	27	1.229
Düsseldorf	24.000	20	833
München	61.000	117	1.918
Frankfurt am Main	65.000	125	1.918
Braunschweig-Wolfsburg	n. v.	0	n. v.
Bremen	n. v.	6	n. v.
Lübeck-Blankensee	n. v.	0	n. v.
Magdeburg-Cochstedt	n. v.	0	n. v.
Paderborn/Lippstadt	n. v.	1	n. v.
Schwerin-Parchim	n. v.	0	n. v.
Siegerland	n. v.	0	n. v.
Stralsund-Barth	n. v.	0	n. v.
Zweibrücken	n. v.	0	n. v.

Legende: orange: Vorhandensein von Fahrtreppen durch Fotos auf der jeweiligen Internetseite ausgeschlossen, rot: Annahme aufgrund der Kapazität, PAX: Passagiere, n. v.: nicht vorhanden

Quellen: (LIFT journal 2012; Flughafen Düsseldorf GmbH 2017; bauportal-deutschland.de 2017)

A2.5 Aufsummierung der Fahrtreppen in Messen

Für den Messestandort Berlin mit mehreren Ebenen wurde der Fahrtreppengehalt als gewichtetes Mittel des Gehaltes in Stuttgart, Essen, Leipzig, Düsseldorf und Köln angenommen. Die Messehallen in Nürnberg und München wurden nicht eingerechnet, da diese ebenerdig sind.

Tabelle A-5: Übersicht der ermittelten bzw. geschätzten Fahrtreppen auf Messestandorten, orange Zahlen bedeuten, dass die Anzahl durch Hallenpläne auf der jeweiligen Internetseite ermittelt wurde, rote Zahlen sind Annahmen aufgrund der Hallenkapazität.

Messestandort	Hallenkapazität in m ²	Fahrtreppen in Stück	Fahrtreppen je 1 Mio. m ² Hallenkapazität
Ulm	22.000	0	0
Offenburg	22.570	0	0
Dresden	23.000	0	0
Erfurt	25.070	0	0
Bremen	39.000	5	128
Kassel	40.000	0	0
Augsburg	40.250	0	0
Karlsruhe	52.000	0	0
Dortmund	59.735	2	33
Bad Salzuflen	78.000	4	51
Friedrichshafen	86.200	0	0
Hamburg	86.465	16	185
Stuttgart	105.200	8	76
Essen	110.000	16	145
Leipzig	111.300	10	90
Berlin (ExpoCenter City)	170.000	47	275
Nürnberg	170.000	0	0
München	180.000	0	0
Düsseldorf	261.817	48	183
Köln	284.000	158	556
Frankfurt am Main	366.637	219	597
Hannover	463.165	6	13

Quellen: (Westfalahallen Dortmund GmbH 2017; Messe Ostwestfalen GmbH 2017; Hamburg Messe und Congress GmbH 2017; Landesmesse Stuttgart GmbH 2017; MESSE ESSEN GmbH 2017; Leipziger Messe GmbH 2017; NürnbergMesse GmbH 2017; Messe München GmbH 2017; SCHULITZ Architekten GmbH 2001)

A3. Eingangswerte zur Berechnung der Rohstoffgehalte

Tabelle A-6: Abmessungen des Traggerüsts nach (Xu 2014), ergänzt um Mittelwerte

Variable	Bedeutung	Abmessungen in mm			
		Thyssen Krupp	Schindler 30°	Schindler 35°	Mittel- wert
<i>a</i>	Oberkantenlänge der Umkehrstation	2.210	2.239	2.273	2.241
<i>b</i>	Unterkantenlänge der Umkehrstation	2.210	2.275	2.420	2.302
<i>c</i>	Oberkantenlänge der Antriebsstation	2.490	2.492	2.552	2.511
<i>d</i>	Unterkantenlänge der Antriebsstation	2.490	2.376	2.325	2.397
<i>e</i>	Höhe des Traggerüsts im mittleren Bereich	940	947	967	951
<i>f</i>	Höhe des Traggerüsts im oberen und unteren Bereich	1.050	1.050	1.050	1.050

Die Fahrtreppenbreite D entspricht der Stufenbreite plus 540 mm.

Tabelle A-7: Gewichte einzelner Stufen nach (Xu 2014)

Stufenbreite in mm	Gewicht in kg bei Aluminium	Gewicht in kg bei Stahl
600	8,0	14,0
800	10,0	17,0
1.000	12,0	20,0

A4. Reparaturbedürftige Fahrtreppen je Altersklasse

A4.1 Teilmodell Warenhäuser

Tabelle A-8: Reparaturbedürftige Fahrtreppen je Szenario und Altersklasse im Teilmodell Warenhäuser

Jahr	Fahrtreppen in Stück								
	Trendszenario			Innenstadtstärkung			Druck		
	1981-1990	ab 1991	gesamt	1981-1990	ab 1991	gesamt	1981-1990	ab 1991	gesamt
2017	17,0	44,8	61,8	17,0	44,8	61,8	17,0	44,8	61,8
2018	14,2	49,8	64,0	14,2	49,8	64,0	14,2	49,8	64,0
2019	11,5	54,1	65,6	11,5	54,1	65,6	11,5	54,1	65,6
2020	9,0	57,6	66,6	9,0	57,6	66,6	9,0	57,6	66,6
2021	6,8	60,1	66,9	6,8	60,1	66,9	6,8	60,1	66,9
2022	5,0	61,9	66,8	5,0	61,9	66,8	5,0	61,9	66,8
2023	3,5	62,8	66,3	3,5	62,8	66,3	3,5	62,8	66,3
2024	2,4	63,1	65,5	2,4	63,1	65,5	2,4	63,1	65,5
2025	1,6	63,0	64,5	1,6	63,0	64,5	1,6	63,0	64,5
2026	1,0	62,6	63,6	1,0	62,6	63,6	1,0	62,6	63,6
2027	0,6	62,2	62,8	0,6	62,2	62,8	0,6	62,2	62,8
2028	0,3	61,9	62,2	0,3	61,9	62,2	0,3	61,9	62,2
2029	0,2	61,8	62,0	0,2	61,9	62,1	0,2	61,8	62,0
2030	0,1	62,1	62,2	0,1	62,2	62,3	0,1	62,1	62,2
2031	0,1	62,8	62,9	0,1	62,9	63,0	0,1	62,8	62,8
2032	0,0	63,9	63,9	0,0	64,0	64,1	0,0	63,8	63,8
2033	0,0	65,3	65,3	0,0	65,5	65,5	0,0	65,2	65,2
2034	0,0	66,9	66,9	0,0	67,3	67,3	0,0	66,7	66,7
2035	0,0	68,6	68,6	0,0	69,2	69,2	0,0	68,3	68,3
2036	0,0	70,3	70,3	0,0	71,1	71,1	0,0	69,8	69,8
2037	0,0	71,8	71,8	0,0	73,0	73,0	0,0	71,2	71,2
2038	0,0	72,9	72,9	0,0	74,6	74,6	0,0	72,1	72,1
2039	0,0	73,7	73,7	0,0	75,8	75,8	0,0	72,6	72,6
2040	0,0	73,9	73,9	0,0	76,6	76,6	0,0	72,6	72,6

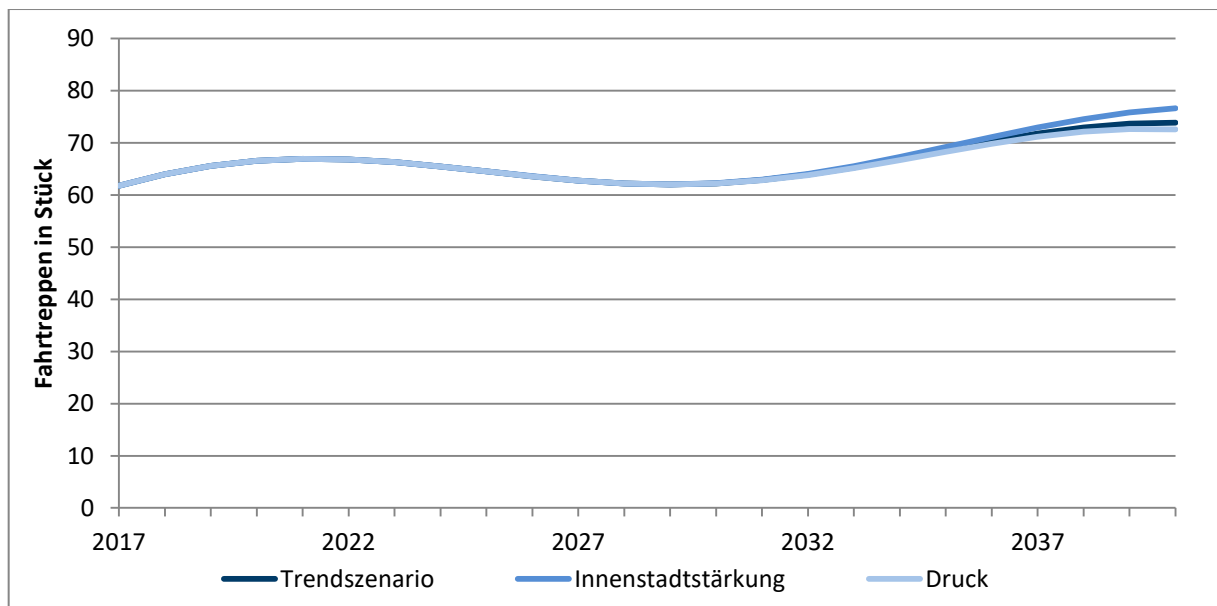


Abbildung 6-3: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Warenhäuser für alle drei Szenarien.

A4.2 Teilmodell Einkaufszentren

Tabelle A-9: Reparaturbedürftige Fahrtreppen je Szenario im Teilmodell Einkaufszentren, nur Altersklasse *ab 1991*

Jahr	Fahrtreppen in Stück		
	Sättigung	Innenstadtstärkung	Übersorgung
2017	183,2	183,2	183,2
2018	180,0	180,0	180,0
2019	178,1	178,1	178,1
2020	179,8	179,8	179,8
2021	183,2	183,2	183,2
2022	184,5	184,5	184,5
2023	181,4	181,4	181,4
2024	176,6	176,6	176,6
2025	174,9	174,9	174,9
2026	178,8	178,8	178,8
2027	184,5	184,5	184,5
2028	185,1	185,1	185,1
2029	177,3	177,3	177,3
2030	164,3	164,3	164,3
2031	152,9	152,9	152,9
2032	147,7	147,7	147,7
2033	147,0	146,9	147,2
2034	145,2	144,9	145,7
2035	138,8	138,1	140,3
2036	130,4	129,1	134,3
2037	125,6	123,3	135,0
2038	127,0	122,8	145,7
2039	132,5	124,4	163,7
2040	139,5	124,4	183,3

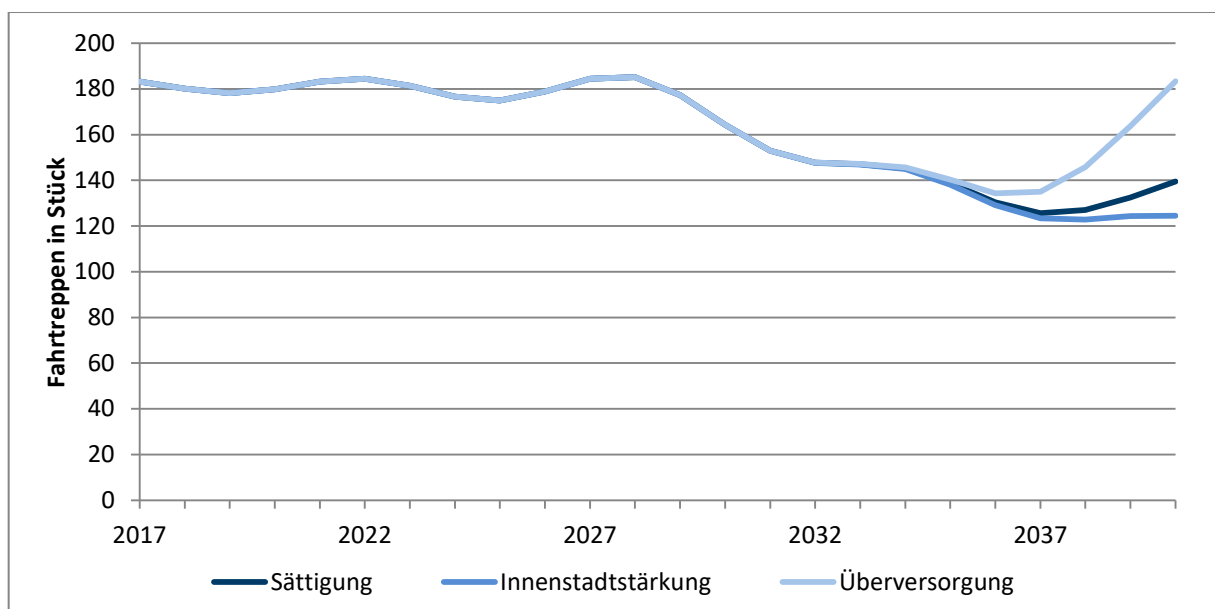


Abbildung 6-4: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Einkaufszentren für alle drei Szenarien.

A4.3 Teilmodell Bahnstationen

Tabelle A-10: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Bahnstationen, nur Altersklasse *ab 1991*

Jahr	Fahrtreppen in Stück
2017	119,1
2018	116,5
2019	115,8
2020	116,8
2021	118,3
2022	119,8
2023	120,8
2024	121,7
2025	122,4
2026	121,7
2027	118,4
2028	113,4
2029	110,1
2030	112,2
2031	120,3
2032	132,2
2033	143,8
2034	152,5
2035	157,7
2036	160,1
2037	160,8
2038	160,2
2039	158,6
2040	155,5

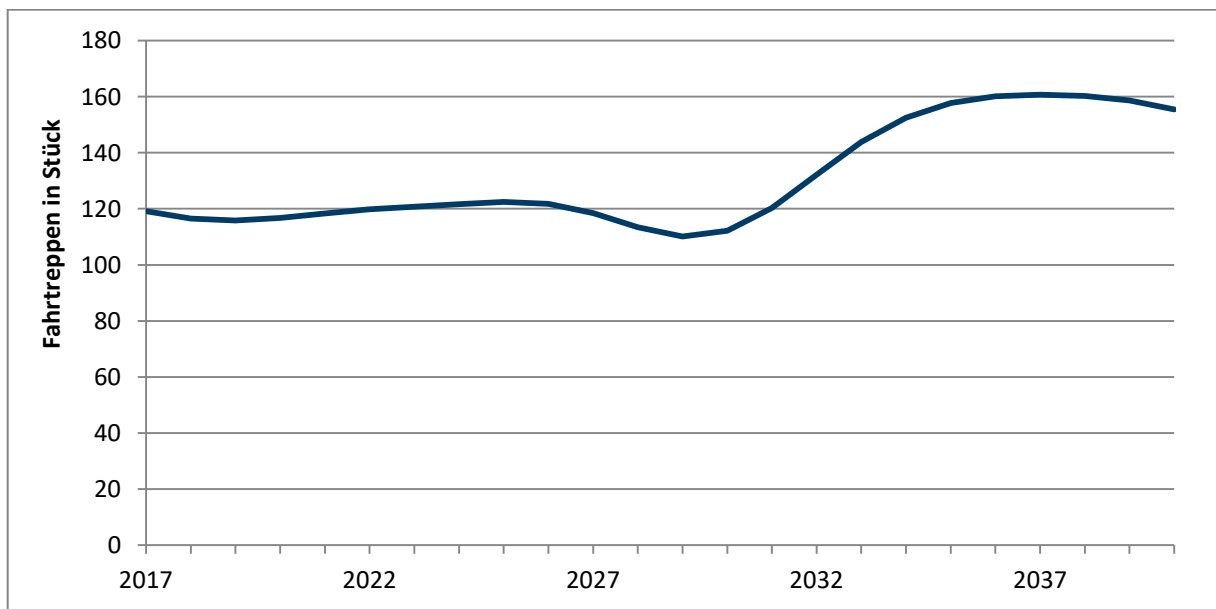


Abbildung 6-5: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Bahnstationen.

A4.4 Teilmodell Verkehrsflughäfen

Tabelle A-11: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Verkehrsflughäfen, nur Altersklasse *ab 1991*

Jahr	Fahrtreppen in Stück
2017	6,1
2018	5,5
2019	5,3
2020	5,0
2021	4,3
2022	3,4
2023	2,8
2024	2,8
2025	3,6
2026	5,2
2027	7,6
2028	10,4
2029	12,9
2030	14,2
2031	13,7
2032	12,5
2033	11,9
2034	13,0
2035	15,5
2036	18,6
2037	21,1
2038	22,4
2039	22,5
2040	21,7

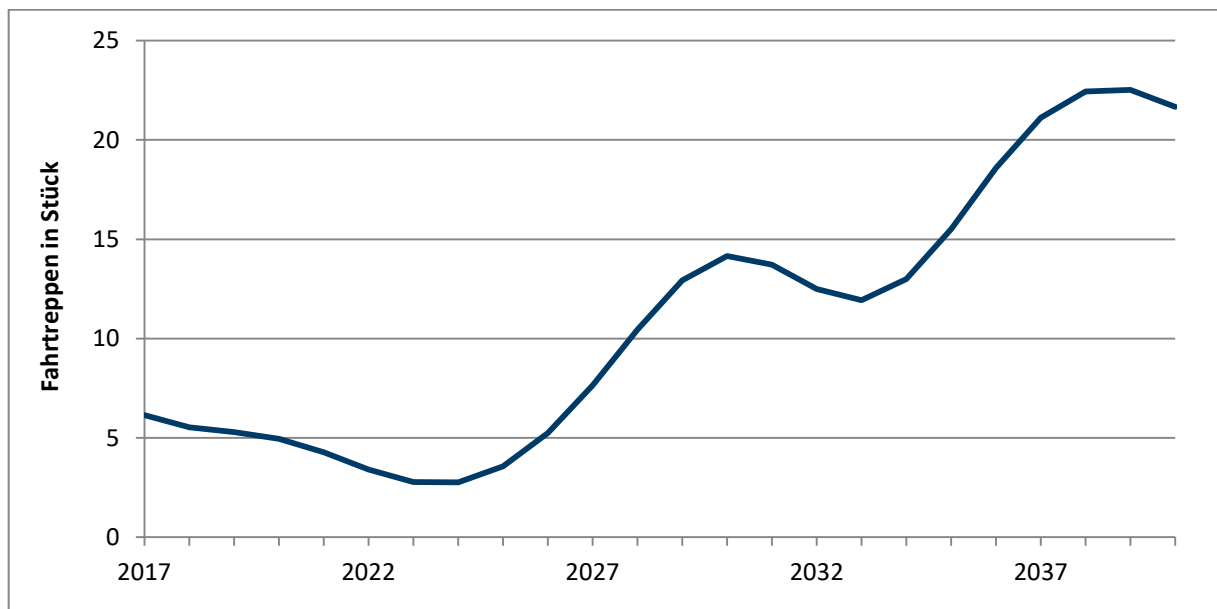


Abbildung 6-6: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Verkehrsflughäfen.

A4.5 Teilmodell Messen

Tabelle A-12: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Messen, nur Altersklasse *ab 1991*

Jahr	Fahrtreppen in Stück
2017	16,8
2018	18,4
2019	19,8
2020	19,7
2021	17,8
2022	15,0
2023	12,7
2024	11,8
2025	12,3
2026	13,3
2027	13,7
2028	12,9
2029	10,8
2030	8,3
2031	6,4
2032	5,1
2033	4,6
2034	5,0
2035	6,6
2036	9,0
2037	10,8
2038	0,7
2039	8,6
2040	5,4

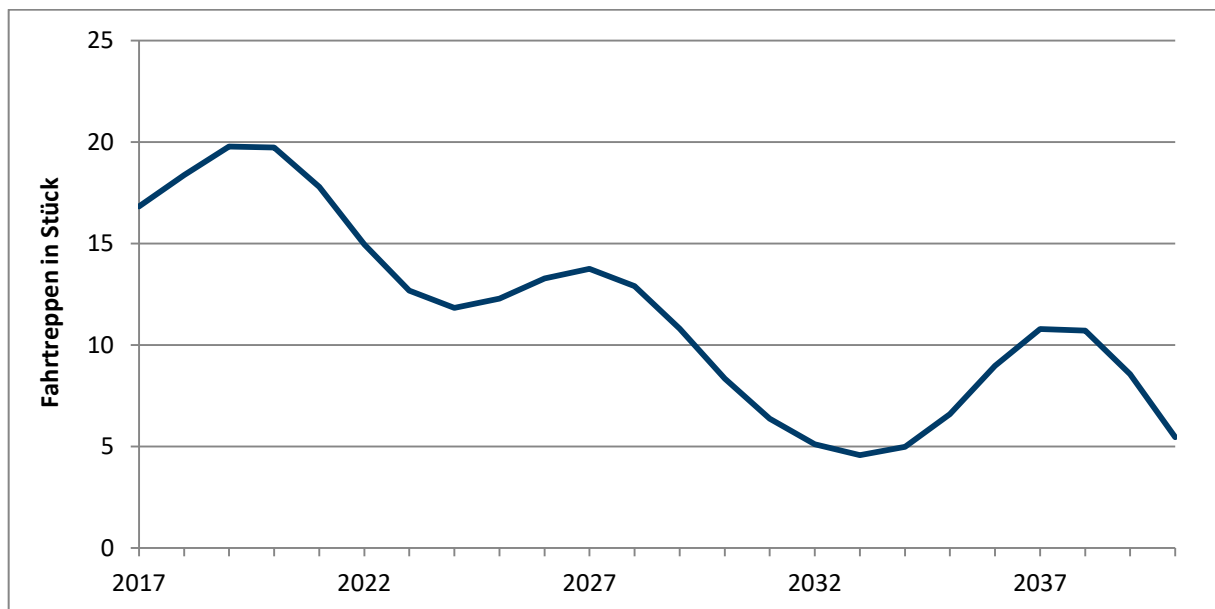


Abbildung 6-7: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Messen.

A4.6 Teilmodell C&A Filialen

Tabelle A-13: Reparaturbedürftige Fahrtreppen je Szenario im Teilmodell C&A

Jahr	Fahrtreppen in Stück		
	1981 - 1990	ab 1991	gesamt
2017	10,7	27,9	38,6
2018	9,0	31,0	40,0
2019	7,3	33,7	40,9
2020	5,7	35,8	41,5
2021	4,3	37,4	41,7
2022	3,1	38,5	41,6
2023	2,2	39,0	41,2
2024	1,5	39,2	40,7
2025	1,0	39,1	40,1
2026	0,6	38,8	39,4
2027	0,4	38,5	38,9
2028	0,2	38,3	38,5
2029	0,1	38,2	38,4
2030	0,1	38,4	38,5
2031	0,0	38,8	38,8
2032	0,0	39,4	39,4
2033	0,0	40,1	40,1
2034	0,0	41,0	41,0
2035	0,0	41,8	41,8
2036	0,0	42,4	42,4
2037	0,0	42,9	42,9
2038	0,0	43,0	43,0
2039	0,0	42,7	42,7
2040	0,0	42,1	42,1

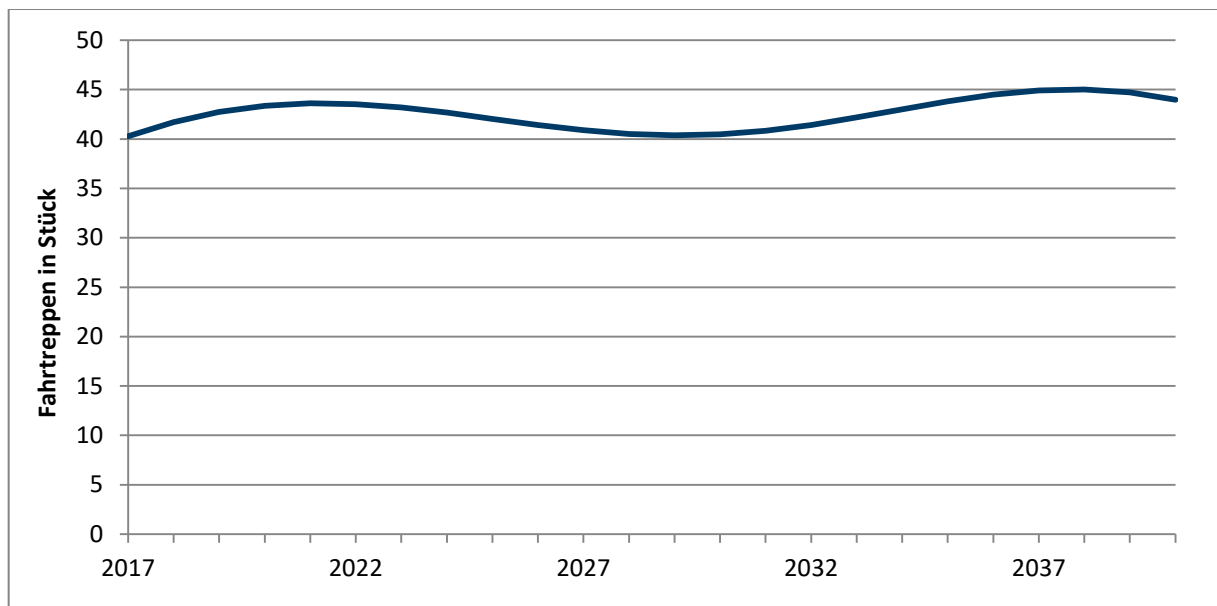


Abbildung 6-8: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell C&A.

A5. Berechnung der Materialflussteilmodelle

A5.1 Teilmodell Warenhäuser, Trendszenario

Gebäudeebene

Input in 1.000 m² Verkaufsfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Neubau/ Ausbau		8,50	8,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Modernisierung - integriert in Gebäudeebene		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eröffnung "Sale Off 5h"		0	24,90	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	12,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verkaufsfläche (Stück)		12,45	19,95	15,00	15,00	15,00	15,00	13,50	6,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Umbau für Eröffnung		20,95	28,45	15,00	15,00	15,00	15,00	13,50	6,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Input gesamt																									

Output in 1.000 m² Verkaufsfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Rest Rückzug-Filialen zum Ende des Jahres	631,40	591,40	564,80	538,20	511,60	485,00	458,40	431,80	405,20	378,60	352,00	325,40	298,80	272,20	245,60	219,00	192,40	165,80	139,20	112,60	86,00	59,40	32,80	6,20	0
Schließung Rückzug	0	40,00	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60
Rest Anfalligkeit-Filialen	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30	379,30
Schließung Anfalligkeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rest Ausbau-Filialen	1.335,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05
Schließung Ausbau	39,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schließung gesamt																									
davon 20% Abruch	15,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mit Verzögerung 5,5 a	0	17,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 74% Umnutzung mit Entfernung Fahrtritten	58,46	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68
mit Verzögerung 0,5a	29,23	39,07	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68
Modernisierung - integriert in Gebäudeebene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Output gesamt																									

Lager in 1.000 m² Verkaufsfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager (gerundet)	2.384	2.376	2.349	2.344	2.339	2.332	2.318	2.301	2.282	2.257	2.232	2.207	2.182	2.157	2.132	2.107	2.082	2.057	2.032	2.007	1.982	1.957	1.932	1.907	1.889

Gebäudetechnikebene
Input in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
aus Gebäudeebene		16	26	9	9	9	9	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Austausch nach		58	53	69	70	69	64	60	60	55	50	45	40	36	33	32	31	31	33	35	39	44	48	53	57
Nutzungsende		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zugebaute Fahrttreppe		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Input gesamt		74	79	77	79	78	73	67	64	55	50	45	40	36	33	32	31	31	33	35	39	44	48	53	57

Output in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aus Gebäudeebene		27	62	15	15	18	28	28	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	12
davon vor 1980		8	17	4	4	5	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		3	7	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	6	6	6	3
davon ab 1991		16	37	9	9	11	17	17	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	16	16	16	9
Austausch nach		58	53	69	70	69	64	60	60	55	50	45	40	36	33	32	31	31	33	35	39	44	48	53	57
Nutzungsende		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon vor 1980		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(abzgl. Gebäudeebene)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abbau		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Output gesamt		85	114	83	85	86	92	89	81	76	71	66	62	58	55	53	52	53	54	56	61	65	70	74	69
davon vor 1980		65	70	73	74	74	72	68	64	58	52	45	38	32	26	21	16	12	9	7	3	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		3	7	2	2	2	3	3	5	6	7	8	10	12	15	17	20	23	25	27	29	31	31	30	25
davon ab 1991		16	37	9	9	11	17	17	13	13	13	13	13	13	14	15	16	18	20	23	28	34	39	45	43

Lager in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager		3.061	3.051	3.015	3.009	3.003	2.975	2.954	2.936	2.914	2.893	2.871	2.850	2.828	2.806	2.785	2.763	2.742	2.720	2.698	2.677	2.655	2.634	2.612	2.600
davon vor 1980		860	795	725	652	578	504	432	364	300	242	191	146	107	76	50	29	13	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		366	362	355	353	352	349	346	343	338	333	326	318	307	295	280	263	243	220	195	169	139	108	77	47
davon ab 1991		1.836	1.893	1.935	2.004	2.074	2.197	2.247	2.298	2.340	2.376	2.408	2.435	2.457	2.477	2.493	2.508	2.521	2.533	2.545	2.556	2.566	2.575	2.583	2.597

Rohstoffebene

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Reparaturbedürftige Fahrreppen		62	64	66	67	67	67	67	66	65	65	64	63	62	62	62	63	64	65	67	69	70	72	73	74
davon 1981 bis 1990		17	14	12	9	7	5	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		45	50	54	58	60	62	63	63	63	63	63	62	62	62	63	64	65	67	69	70	72	73	74	74

Input in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl/Fedelstahl																									
aus Gebäudetechnikebene		314,80	333,75	328,90	334,66	329,80	309,09	285,23	270,01	232,67	210,90	189,22	170,94	154,61	142,23	134,37	131,21	132,66	138,30	147,53	165,80	185,97	205,48	223,84	240,56
Reparatur		30,39	31,46	32,22	32,68	32,86	32,79	32,52	32,12	31,65	31,18	30,78	30,51	30,41	30,51	30,82	31,34	32,01	32,80	33,64	34,46	35,18	35,75	36,11	36,21
davon 1981 bis 1990		8,42	7,05	5,71	4,47	3,37	2,46	1,73	1,17	0,77	0,49	0,29	0,17	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		21,98	24,41	26,51	28,22	29,48	30,33	30,79	30,94	30,88	30,70	30,48	30,33	30,31	30,46	30,80	31,32	32,01	32,80	33,64	34,46	35,18	35,75	36,11	36,21
gesamt		345,19	365,22	361,13	367,34	362,65	341,88	317,75	302,13	264,32	242,08	220,00	201,45	185,02	172,74	165,19	162,55	164,67	171,11	181,17	200,26	221,15	241,24	259,95	276,77
Aluminium																									
aus Gebäudetechnikebene		51,02	54,10	53,31	54,24	53,45	50,10	46,23	43,76	37,71	34,18	30,67	27,71	25,06	23,05	21,78	21,27	21,50	22,42	23,91	26,87	30,14	33,30	36,28	38,99
Reparatur		0,36	0,38	0,40	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,42	0,42	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0
davon 1981 bis 1990		0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		0,30	0,33	0,36	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49
gesamt		51,38	54,48	53,71	54,66	53,88	50,53	46,66	44,19	38,14	34,61	31,09	28,12	25,47	23,47	22,20	21,70	21,94	22,86	24,37	27,34	30,62	33,79	36,77	39,48

Output in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl/Fedelstahl																									
aus Gebäudetechnikebene		438,55	571,05	440,94	448,28	455,07	475,95	458,90	421,91	395,41	366,92	338,36	313,41	290,91	273,05	260,53	253,56	251,95	255,20	262,50	277,91	295,68	314,97	332,65	304,31
davon vor 1980		354,10	378,56	394,91	402,25	400,30	389,39	370,36	344,55	313,58	279,22	243,25	207,32	172,84	140,89	112,25	87,35	66,35	49,14	35,46	16,26	0,00	0,00	0,00	0,00
davon 1981 bis 1990		15,61	35,57	8,51	8,51	10,12	16,00	16,36	22,38	26,85	32,72	40,14	49,15	59,70	71,53	84,20	97,08	109,40	120,29	128,89	141,70	150,93	149,11	143,58	121,94
davon ab 1991		68,84	156,91	37,52	37,52	44,64	70,56	72,17	54,98	54,98	54,98	54,98	56,94	58,37	60,63	64,08	69,12	76,21	85,77	98,16	119,95	144,75	165,86	189,07	182,38
Reparatur		30,39	31,46	32,22	32,68	32,86	32,79	32,52	32,12	31,65	31,18	30,78	30,51	30,41	30,51	30,82	31,34	32,01	32,80	33,64	34,46	35,18	35,75	36,11	36,21
davon 1981 bis 1990		8,42	7,05	5,71	4,47	3,37	2,46	1,73	1,17	0,77	0,49	0,29	0,17	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		21,98	24,41	26,51	28,22	29,48	30,33	30,79	30,94	30,88	30,70	30,48	30,33	30,31	30,46	30,80	31,32	32,01	32,80	33,64	34,46	35,18	35,75	36,11	36,21
gesamt		468,94	602,51	473,17	480,96	487,93	508,73	491,42	454,03	427,06	398,10	369,14	343,92	321,31	303,56	291,35	284,89	283,97	288,00	296,14	312,36	330,86	350,72	368,77	340,52
Aluminium																									
aus Gebäudetechnikebene		12,27	27,97	6,69	6,69	7,96	12,58	12,86	10,50	10,82	11,24	11,77	12,73	13,71	14,92	16,38	18,12	20,14	22,47	25,09	29,53	34,21	37,50	40,87	38,24
davon vor 1980		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		1,11	2,53	0,61	0,61	0,72	1,14	1,17	1,59	1,91	2,33	2,86	3,50	4,25	5,09	6,00	6,91	7,79	8,57	9,18	10,09	10,75	10,62	10,23	8,68
davon ab 1991		11,16	25,43	6,08	6,08	7,24	11,44	11,70	8,91	8,91	8,91	8,91	9,23	9,46	9,83	10,39	11,20	12,35	13,90	15,91	19,44	23,46	26,88	30,65	29,56
Reparatur		0,36	0,38	0,40	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49
davon 1981 bis 1990		0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		0,30	0,33	0,36	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49
gesamt		12,63	28,35	7,09	7,10	8,38	13,01	13,30	10,94	11,25	11,66	12,19	13,14	14,13	15,34	16,80	18,55	20,58	22,92	25,55	30,00	34,69	37,99	41,36	38,74

Rohstofflager in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager Stahl/Eddelsahl		14,157	14,034	13,796	13,684	13,571	13,445	13,279	13,105	12,953	12,790	12,634	12,485	12,343	12,206	12,076	11,949	11,827	11,708	11,591	11,476	11,364	11,254	11,145	11,036
Lager Aluminium		1,383	1,422	1,448	1,495	1,542	1,588	1,625	1,658	1,692	1,719	1,742	1,760	1,775	1,787	1,795	1,800	1,803	1,805	1,808	1,804	1,801	1,797	1,793	1,789

A5.2 Teilmodell Warenhäuser, Szenario *Innenstadtstärkung*

Gebäudeebene

Input in 1.000 m² Verkaufsfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Neubau/Ausbau		8,50	8,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Modernisierung - integriert in Gebäudetechnikene		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eröffnung "Sales Off 50h" (Stück)		0	24,09	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	12,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Umbau für Eröffnung		12,45	22,95	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	16,50	6,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Input gesamt		20,95	31,45	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	16,50	6,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Output in 1.000 m² Verkaufsfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Filialschließungen																									
Rest Rückzuge-Filialen zum Ende des Jahres	406,60	366,60	349,47	332,34	315,21	298,08	280,95	263,82	246,69	229,56	212,43	195,30	178,17	161,04	143,91	126,78	109,65	92,52	75,39	58,26	41,13	24,00	6,87	0	0
Schließung Rückzug		40,00	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	6,87	0
Rest Anfalligkeit-Filialen	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10	604,10
Schließung Anfalligkeit		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rest Ausbau-Filialen	1.335,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05
Schließung Ausbau		39,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schließung gesamt		79,00	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	17,13	6,87	0
davon 20% Abbruch		15,80	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	1,37	0
mit Verzögerung 5,5 a		0	17,0	0	0	2,17	10,07	9,61	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43
davon 74% Umnutzung mit Entfernung Fahrtrappen		58,46	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	5,08	0
mit Verzögerung 0,5a		29,23	35,57	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	8,88	2,54
Modernisierung - integriert in Gebäudetechnikene		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Output gesamt		29,23	52,57	12,68	12,68	14,85	22,75	22,29	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	12,31	5,97	5,97

Lager in 1.000 m² Verkaufsfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager (gerundet)	2.384	2.376	2.355	2.363	2.372	2.378	2.376	2.375	2.375	2.365	2.349	2.333	2.317	2.301	2.285	2.269	2.252	2.236	2.220	2.204	2.188	2.172	2.156	2.143	2.138

Gebäudetechnikebene

Input in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
aus Gebäudeebene		16	30	16	16	16	16	16	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Austausch nach Nutzungsende		58	54	71	73	72	72	65	63	58	53	48	43	40	37	35	34	34	36	38	39	44	48	53	57
Zugebaute Fahrttreppen		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Input gesamt		74	84	88	89	88	88	84	81	62	53	48	43	40	37	35	34	34	36	38	39	44	48	53	57

Output in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aus Gebäudeebene		27	57	6	6	9	19	18	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	0
davon vor 1980		8	16	2	2	2	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0
davon 1981 bis 1990		3	17	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	0
davon ab 1991		16	34	3	3	5	11	11	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	4	0
Austausch nach Nutzungsende		58	54	71	73	72	67	65	63	58	53	48	43	40	37	35	34	34	36	38	39	44	48	53	57
davon vor 1980		58	54	71	73	71	67	63	61	55	49	42	35	29	23	18	13	9	6	4	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		0	0	0	0	1	1	1	2	3	4	6	8	10	12	15	18	20	22	24	25	26	25	24	22
davon ab 1991		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	5	7	10	14	18	23	29	34
Entfernte Fahrttreppen		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Output gesamt		85	111	77	79	81	86	83	73	68	63	58	54	50	47	45	44	45	46	48	49	54	58	58	57
davon vor 1980		65	70	73	74	74	72	68	64	58	52	45	38	32	26	21	16	12	9	7	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		3	7	1	1	2	3	4	3	4	5	7	9	11	13	16	19	21	24	25	28	28	28	25	22
davon ab 1991		16	34	3	3	5	11	11	6	6	6	6	7	7	7	8	9	11	13	16	21	26	31	32	34

Lager in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager		3.061	3.051	3.023	3.034	3.045	3.053	3.050	3.049	3.049	3.043	3.033	3.023	3.013	3.003	2.993	2.983	2.972	2.962	2.952	2.942	2.932	2.922	2.912	2.906
davon vor 1980		860	795	725	652	578	504	432	364	300	242	191	146	107	76	50	29	13	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		366	362	356	355	354	352	349	346	342	338	333	326	317	306	293	276	258	237	213	188	160	131	103	78
davon ab 1991		1.836	1.877	1.897	1.965	2.034	2.101	2.158	2.211	2.268	2.320	2.367	2.408	2.445	2.478	2.507	2.534	2.559	2.582	2.605	2.626	2.644	2.662	2.680	2.700

Rohstoffebene

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Reparaturbedürftige Feinreppen	62	64	66	66	67	67	67	66	65	65	64	63	62	62	62	63	64	66	67	69	71	73	75	76	77
davon 1981 bi 1990	17	14	12	9	7	5	3	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991	45	50	54	58	60	62	63	63	63	63	63	62	62	62	62	63	64	66	67	69	71	73	75	76	77

Input in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl /Edelstahl																									
aus Gebäudetechnikenebene		314,80	355,55	373,35	379,69	375,76	356,46	344,31	311,86	263,34	225,17	203,99	184,63	168,30	155,92	148,05	144,90	146,34	151,99	161,21	165,80	185,97	205,48	223,84	240,56
Reparatur		30,39	31,46	32,22	32,68	32,86	32,79	32,52	32,12	31,65	31,18	30,78	30,51	30,42	30,53	30,87	31,41	32,13	32,99	33,92	34,87	35,77	36,56	37,17	37,56
davon 1981 bis 1990		8,42	7,05	5,71	4,47	3,37	2,46	1,73	1,17	0,77	0,49	0,29	0,17	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		21,98	24,41	26,51	28,22	29,48	30,33	30,79	30,95	30,88	30,70	30,49	30,34	30,32	30,48	30,84	31,40	32,13	32,99	33,92	34,87	35,77	36,56	37,17	37,56
gesamt		345,19	387,02	405,57	412,37	408,62	389,25	376,83	343,98	295,00	256,35	234,78	215,14	198,72	186,45	178,92	176,31	178,48	184,98	195,13	200,68	221,74	242,04	261,01	278,12
Aluminium																									
aus Gebäudetechnikenebene		51,02	57,63	60,51	61,54	60,90	57,78	55,81	50,55	42,68	36,50	33,06	29,92	27,28	25,27	24,00	23,49	23,72	24,63	26,13	26,87	30,14	33,30	36,28	38,99
Reparatur		0,36	0,38	0,40	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51
davon 1981 bi 1990		0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		0,30	0,33	0,36	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51
gesamt		51,38	58,01	60,91	61,96	61,33	58,21	56,24	50,98	43,11	36,92	33,48	30,34	27,69	25,69	24,42	23,91	24,16	25,09	26,59	27,35	30,63	33,80	36,79	39,50

Output in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl /Edelstahl																									
aus Gebäudetechnikenebene		438,55	556,94	413,69	421,71	429,55	452,03	433,50	386,09	359,58	331,68	303,63	277,59	255,08	237,23	224,70	217,73	216,13	219,37	226,68	225,82	246,23	265,52	258,85	253,63
davon vor 1980		354,10	378,56	394,91	402,25	400,30	389,39	370,36	344,55	313,58	279,22	243,25	207,32	172,84	140,89	112,25	87,35	66,35	49,14	35,46	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		15,61	32,97	4,25	4,92	7,59	15,07	17,07	15,76	20,23	26,10	33,51	42,53	53,08	64,91	77,58	90,46	102,78	113,67	122,27	135,08	137,06	135,23	122,05	107,84
davon ab 1991		68,84	145,41	14,53	14,53	21,65	47,57	46,07	25,77	25,77	26,36	26,86	27,73	29,16	31,43	34,87	39,92	47,00	56,56	68,95	90,75	109,17	130,29	136,80	145,79
Reparatur		30,39	31,46	32,22	32,68	32,86	32,79	32,52	32,12	31,65	31,18	30,78	30,51	30,42	30,53	30,87	31,41	32,13	32,99	33,92	34,87	35,77	36,56	37,17	37,56
davon 1981 bis 1990		8,42	7,05	5,71	4,47	3,37	2,46	1,73	1,17	0,77	0,49	0,29	0,17	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		21,98	24,41	26,51	28,22	29,48	30,33	30,79	30,95	30,88	30,70	30,49	30,34	30,32	30,48	30,84	31,40	32,13	32,99	33,92	34,87	35,77	36,56	37,17	37,56
gesamt		468,94	588,41	445,92	454,39	462,41	484,81	466,03	418,21	391,24	362,86	334,41	308,10	285,50	267,76	255,57	249,14	248,26	252,36	260,60	260,70	282,00	302,08	296,02	291,19
Aluminium																									
aus Gebäudetechnikenebene		12,27	25,92	2,66	2,71	4,05	8,78	8,68	5,30	5,62	6,13	6,74	7,52	8,51	9,72	11,18	12,91	14,94	17,26	19,88	24,33	27,46	30,75	30,86	31,31
davon vor 1980		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		1,11	2,35	0,30	0,35	0,54	1,07	1,22	1,12	1,44	1,86	2,39	3,03	3,78	4,62	5,52	6,44	7,32	8,10	8,71	9,62	9,76	9,63	8,69	7,68
davon ab 1991		11,16	23,57	2,36	2,36	3,51	7,71	7,47	4,18	4,18	4,27	4,35	4,49	4,73	5,09	5,65	6,47	7,62	9,17	11,18	14,71	17,69	21,12	22,17	23,63
Reparatur		51,02	57,63	60,51	61,54	60,90	57,78	55,81	50,55	42,68	36,50	33,06	29,92	27,28	25,27	24,00	23,49	23,72	24,63	26,13	26,87	30,14	33,30	36,28	38,99
davon 1981 bis 1990		0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		0,30	0,33	0,36	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51
gesamt		12,63	26,30	3,06	3,12	4,48	9,21	9,12	5,73	6,05	6,55	7,16	7,94	8,92	10,13	11,60	13,34	15,38	17,71	20,35	24,80	27,94	31,25	31,37	31,82

Rohstofflager in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager Stahl/Edelstahl	14,157	14,034	13,832	13,792	13,750	13,696	13,601	13,511	13,437	13,341	13,234	13,135	13,042	12,955	12,874	12,797	12,724	12,654	12,587	12,522	12,462	12,401	12,341	12,306	12,293
Lager Aluminium	1,383	1,422	1,453	1,511	1,570	1,627	1,676	1,723	1,768	1,805	1,836	1,862	1,885	1,903	1,919	1,932	1,942	1,951	1,958	1,965	1,967	1,970	1,972	1,978	1,986

A5.3 Teilmodell Warenhäuser, Szenario *Druck*

Gebäudeebene

Input in 1.000 m² Verkaufsfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Neubau/Ausbau		8,50	8,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Modernisierung - integriert in Gebäudetechnikene		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eröffnung "Saks Off 5th" (Stück)			24,90 (5 St.)	6,00 (2 St.)	6,00 (2 St.)	6,00 (2 St.)	6,00 (2 St.)	6,00 (2 St.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Umbau für Eröffnung		12,45	15,45	6,00	6,00	6,00	6,00	3,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Input gesamt		20,95	23,95	6,00	6,00	6,00	6,00	3,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Output in 1.000 m² Verkaufsfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Rest Rückzug-Filialen zum Ende des Jahres	631,40	591,40	564,80	538,20	511,60	485,00	458,40	431,80	405,20	378,60	352,00	325,40	298,80	272,20	245,60	219,00	192,40	165,80	139,20	112,60	86,00	59,40	32,80	0	0
Schließung Rückzug		40,00	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	32,80	0
Rest <i>Anfälligkeit</i> -Filialen	379,30	337,16	295,01	252,87	210,72	168,58	126,43	84,29	42,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rückstufung <i>Anfälligkeit</i> in Rückzug		42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14	42,14
Schließung rückgestufter Filialen		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rest Ausbau-Filialen	1.335,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05	1.296,05
Schließung <i>Ausbau</i>		39,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schließung gesamt		79,00	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	32,80	0
davon 20% Abruch		15,80	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	6,40	0
mit Verzögerung 5,5 a		0	17,00	0	0	2,17	10,07	10,56	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	6,40	0
davon 74% Umnutzung mit Entfernung Fahrtritten		58,46	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	24,00	0
mit Verzögerung 0,5a		29,23	39,07	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	19,68	24,00	0
Modernisierung - integriert in Gebäudetechnikene		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Output gesamt		29,23	56,07	19,68	19,68	21,85	29,75	30,24	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00

Lager in 1.000 m² Verkaufsfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager (gerundet)	2,384	2,376	2,344	2,330	2,317	2,301	2,277	2,250	2,225	2,200	2,175	2,150	2,125	2,100	2,075	2,050	2,009	1,953	1,897	1,841	1,784	1,724	1,659	1,592	1,535

Gebäudetechnikebene
Input in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
aus Gebäudeebene		16		20	4	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Austausch nach Nutzungsende		58		53	69	70	70	65	62	60	55	50	45	40	36	33	32	25	30	34	39	44	48	36	34
Zugebaute Fahrttreppen		0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Input gesamt		74	73	73	74	74	74	69	64	60	55	50	45	40	36	33	32	25	30	34	39	44	48	36	34

Output in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aus Gebäudeebene		27	62	15	15	18	28	28	22	22	22	22	22	22	22	22	42	62	62	62	62	67	73	76	63
davon vor 1980		8	17	4	4	5	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	12	17	17	16	16	17	19	0	0
davon 1981 bis 1990		3	7	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	7	16	16	16	17	19	0	0
davon ab 1991		16	37	9	9	11	17	17	13	13	13	13	13	13	13	13	25	37	46	46	46	49	54	76	63
Austausch nach Nutzungsende		58	53	69	70	70	65	62	60	55	50	45	40	36	33	32	25	25	30	34	39	44	48	36	34
davon vor 1980		58	53	69	70	69	64	60	58	52	45	39	32	26	20	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		0	0	0	0	1	1	1	2	3	4	6	8	10	12	15	18	20	22	24	25	26	25	7	0
davon ab 1991		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7	10	14	18	23	29	34
Entfernte Fahrttreppen		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Output gesamt		85	114	84	85	87	93	90	81	76	71	66	62	58	55	53	67	87	91	96	101	111	121	111	97
davon vor 1980		65	70	73	74	74	72	68	64	58	52	45	38	32	26	21	16	17	17	17	17	17	17	19	0
davon 1981 bis 1990		3	7	2	2	3	4	5	5	6	7	8	10	12	15	17	22	27	39	40	42	43	44	7	0
davon ab 1991		16	37	9	9	11	17	17	13	13	13	13	13	14	14	15	28	42	53	56	60	67	77	105	97

Lager in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager	3.061	3.051	3.009	2.998	2.988	2.974	2.950	2.924	2.903	2.881	2.859	2.838	2.816	2.795	2.773	2.751	2.710	2.648	2.586	2.524	2.463	2.396	2.323	2.247	2.184
davon vor 1980	860	795	725	652	578	504	432	364	300	242	191	146	107	76	50	29	13	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990	366	362	355	353	351	348	344	339	335	329	322	314	304	292	277	259	237	210	171	130	89	46	2	0	0
davon ab 1991	1.836	1.877	1.893	1.953	2.014	2.073	2.122	2.166	2.213	2.255	2.292	2.323	2.350	2.373	2.392	2.409	2.405	2.388	2.365	2.343	2.322	2.298	2.270	2.247	2.184

Rohstoffebene

Reparaturbedürftige Fahrer* davon 1981 bis 1990	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
		62	64	66	67	67	67	66	65	65	64	63	62	62	62	63	64	65	67	68	70	71	72	73	73
		17	14	12	9	7	5	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		45	50	54	58	60	62	63	63	63	63	63	62	62	62	63	64	65	67	68	70	71	72	73	73

Input in t

Stahl/Edelstahl aus Gebäudetechnikene Reparatur davon 1981 bis 1990	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
		314,80	309,13	309,78	316,13	312,19	292,90	270,79	253,02	232,67	210,90	189,22	170,94	154,61	142,23	134,37	107,24	106,42	125,55	145,50	165,80	185,97	204,33	151,09	145,79
		30,39	31,46	32,22	32,68	32,86	32,79	32,52	32,12	31,65	31,18	30,78	30,50	30,40	30,49	30,80	31,29	31,95	32,70	33,49	34,24	34,89	35,36	35,61	35,58
davon ab 1991		8,42	7,05	5,71	4,47	3,37	2,46	1,73	1,17	0,77	0,69	0,49	0,17	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		21,98	24,41	26,51	28,22	29,48	30,33	30,79	30,94	30,88	30,49	30,48	30,33	30,30	30,44	30,77	31,28	31,94	32,70	33,49	34,24	34,89	35,36	35,61	35,58
gesamt		345,19	340,59	342,00	346,81	345,05	325,68	303,32	285,14	264,32	242,07	220,00	201,45	185,01	172,73	165,16	138,54	138,36	158,25	178,98	200,04	220,86	239,69	186,69	181,37
Aluminium aus Gebäudetechnikene Reparatur davon 1981 bis 1990		51,02	50,10	50,21	51,24	50,60	47,47	43,89	41,01	37,71	34,18	30,67	27,71	25,06	23,05	21,78	17,38	17,25	20,35	23,58	26,87	30,14	33,12	24,49	23,63
		0,36	0,38	0,40	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49
		0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		0,30	0,33	0,36	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49
gesamt		51,38	50,49	50,61	51,65	51,03	47,90	44,32	41,44	38,14	34,61	31,09	28,12	25,47	23,47	22,20	17,81	17,68	20,80	24,04	27,34	30,62	33,60	24,97	24,12

Output in t

Stahl/Edelstahl aus Gebäudetechnikene davon vor 1980 davon 1981 bis 1990	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
		438,55	571,05	441,90	449,91	457,75	480,23	465,52	421,91	395,41	366,92	338,36	313,41	290,91	273,05	260,53	316,32	405,15	413,30	434,29	455,27	492,64	536,66	477,98	413,37
		354,10	378,56	394,91	402,25	400,30	389,39	370,36	344,55	313,58	279,22	243,25	207,32	172,84	140,89	112,25	87,35	94,03	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		15,61	35,57	9,46	10,14	12,81	20,28	22,98	22,38	26,85	32,72	40,14	49,15	59,70	71,53	84,20	108,68	132,60	186,98	195,58	201,14	206,26	211,09	33,83	0,00
davon ab 1991		68,84	156,91	37,52	37,52	44,64	70,56	72,17	54,98	54,98	54,98	54,98	56,94	58,37	60,63	64,08	120,28	178,53	226,31	238,71	254,13	286,38	325,57	444,15	413,37
Reparatur		30,39	31,46	32,22	32,68	32,86	32,79	32,52	32,12	31,65	31,18	30,78	30,50	30,40	30,49	30,80	31,29	31,95	32,70	33,49	34,24	34,89	35,36	35,61	35,58
davon 1981 bis 1990		8,42	7,05	5,71	4,47	3,37	2,46	1,73	1,17	0,77	0,69	0,49	0,17	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		21,98	24,41	26,51	28,22	29,48	30,33	30,79	30,94	30,88	30,69	30,48	30,33	30,30	30,44	30,77	31,28	31,94	32,70	33,49	34,24	34,89	35,36	35,61	35,58
gesamt		468,94	602,51	474,12	482,59	490,61	513,02	498,04	454,03	427,06	398,10	369,14	343,92	321,31	303,55	291,33	347,61	437,10	446,00	467,78	489,51	527,53	572,02	513,59	448,95
Aluminium aus Gebäudetechnikene davon vor 1980 davon 1981 bis 1990		12,27	27,97	6,76	6,80	8,15	12,88	13,33	10,50	10,82	11,24	11,77	12,73	13,71	14,92	16,38	27,24	38,38	50,00	52,62	55,51	61,11	67,80	74,40	67,00
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1,11	2,53	0,67	0,72	0,91	1,44	1,64	1,59	1,91	2,33	2,86	3,50	4,25	5,09	6,00	7,74	9,44	13,32	13,93	14,33	14,69	15,03	2,41	0
davon ab 1991		11,16	25,43	6,08	6,08	7,24	11,44	11,70	8,91	8,91	8,91	8,91	9,23	9,46	9,83	10,39	19,50	28,94	36,68	38,69	41,19	46,42	52,77	71,99	67,00
Reparatur		0,36	0,38	0,40	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49
davon 1981 bis 1990		0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		0,30	0,33	0,36	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49
gesamt		12,63	28,35	7,16	7,22	8,57	13,31	13,77	10,94	11,25	11,66	12,19	13,14	14,13	15,34	16,80	27,66	38,82	50,45	53,08	55,98	61,58	68,29	74,88	67,49

Rohstofflager in t

Lager Stahl/Edelstahl Lager Aluminium	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	
		14,157	14,034	13,772	13,640	13,506	13,360	13,173	12,978	12,809	12,647	12,491	12,341	12,199	12,063	11,932	11,806	11,597	11,298	11,010	10,721	10,432	10,125	9,793	9,466	9,198
		1,383	1,422	1,444	1,487	1,532	1,574	1,609	1,639	1,670	1,697	1,720	1,739	1,754	1,765	1,773	1,778	1,769	1,747	1,718	1,689	1,660	1,629	1,595	1,545	1,501

A5.4 Teilmodell Einkaufszentren, Szenario *Sättigung*

Gebäudeebene
Input in 1.000 m² Mietfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Neubau		0	30,00	213,70	232,70	71,20	86,20	128,20	128,20	131,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30
davon Stadteillage				0	66,30	13,00	65,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon Innenstadt (plus Factory Outlet-Center)			30,00	147,40	219,70	6,20	6,20	128,20	128,20	131,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30
Revitalisierung (Innenstadt)			19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28
Input gesamt			49,28	232,98	251,98	90,48	105,48	147,48	147,48	150,58	28,58	28,58	28,58	28,58	28,58	28,58	28,58	28,58	28,58	28,58	28,58	28,58	28,58	28,58	28,58

Output in 1.000 m² Mietfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Abbrüche (nur Innenstadt)																									
Revitalisierung (Nachnutzung Einkaufszentrum)			19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28
mit anderer Nachnutzung			6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43
Output gesamt (nur Innenstadt)			25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70

Lager in 1.000 m² Mietfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Grüne Wiese (gerundet)			1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086
Stadtteillage (gerundet)			3,816	3,882	3,895	3,960	4,040	4,040	4,040	4,040	4,040	4,040	4,040	4,040	4,040	4,040	4,040	4,040	4,040	4,040	4,040	4,040	4,039	4,040	4,040
Innenstadt (gerundet)			4,819	4,842	4,983	5,197	5,196	5,316	5,440	5,561	5,686	5,692	5,695	5,698	5,701	5,704	5,706	5,709	5,712	5,715	5,718	5,721	5,724	5,727	5,729
Lager gesamt (gerundet)			9,721	9,744	9,951	10,178	10,242	10,322	10,444	10,566	10,688	10,815	10,818	10,821	10,824	10,830	10,833	10,835	10,838	10,841	10,844	10,847	10,850	10,853	10,856

Gebäudetechnikenebene

Input in Stück Durchschnittsfahrtstreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
durch Input Gebäudeebene (in M ² fläche)			24	104	123	34	39	73	73	73	75	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
davon Stadteillage			0	22	4	21	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon Innenstadt			24	83	118	13	13	73	73	73	75	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
durch Austausch nach Nutzungsende			37	47	58	70	83	96	110	123	134	145	154	161	167	171	174	175	176	175	174	171	168	163	157
Input gesamt			61	151	180	104	122	170	183	196	209	159	168	175	181	185	188	189	190	189	188	186	182	178	172

Output in Stück Durchschnittsfahrtstreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aus Gebäudeebene			15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
davon 1981 bis 1990			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991			15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Austausch nach Nutzungsende			37	47	58	70	83	96	110	123	134	145	154	161	167	171	174	175	176	175	174	171	168	163	157
davon 1981 bis 1990			8	8	8	8	8	7	6	5	4	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991			29	38	49	62	75	90	104	118	130	142	151	159	166	170	173	175	176	175	174	171	168	163	157
Abbau (in M ² fläche)			34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
davon 1981 bis 1990			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
davon ab 1991			33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Output gesamt			86	96	107	119	132	146	159	172	184	194	203	210	216	220	189	190	191	189	187	183	179	173	165
davon 1981 bis 1990			9	10	10	9	8	7	6	5	4	4	4	3	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991			77	86	97	110	124	138	152	166	178	190	200	208	214	218	188	190	190	189	186	183	178	172	165

Lager in Stück Durchschnittsfahrtstreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager gesamt			4,305	4,280	4,335	4,408	4,392	4,405	4,453	4,478	4,443	4,407	4,372	4,337	4,302	4,301	4,299	4,298	4,297	4,296	4,295	4,294	4,293	4,292	4,290
davon 1981 bis 1990			108	99	89	79	70	61	53	46	39	30	26	24	21	19	18	18	17	17	16	16	15	15	14
davon ab 1991			4,197	4,181	4,245	4,328	4,322	4,320	4,352	4,383	4,413	4,413	4,381	4,349	4,316	4,282	4,282	4,281	4,280	4,280	4,279	4,278	4,277	4,276	4,276

Rohstoffebene

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Reparaturbedürftige Fahrtruppen (ab 1991)		183	180	178	180	183	184	181	177	175	179	184	185	177	164	153	148	147	145	139	130	126	127	133	139

Input in t

Stahl/Edelstahl	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
aus Gebäudetechnik ebene (Mallfläche)		274,22	675,54	808,07	465,13	545,37	759,29	818,92	876,07	935,71	711,90	751,87	784,52	809,91	829,50	840,97	848,05	850,35	848,27	841,92	831,18	815,71	795,03	768,66	736,22
Reparatur		100,34	98,62	97,57	98,48	100,36	101,04	99,37	96,71	95,82	97,95	101,04	101,40	97,14	89,99	83,75	80,90	80,53	79,55	76,03	71,41	68,81	69,58	72,58	76,41
gesamt		374,56	774,16	905,65	563,61	645,73	860,33	918,29	972,78	1031,54	809,84	852,92	885,92	907,04	918,49	924,73	928,95	930,88	927,82	917,95	902,59	884,51	864,61	841,24	812,63
Aluminium																									
aus Gebäudetechnik ebene (Mallfläche)		47,18	116,24	139,04	80,03	93,84	130,65	140,91	150,74	161,01	122,49	129,37	134,99	139,36	142,56	144,70	145,92	146,32	145,96	144,87	143,02	140,36	136,80	132,26	126,68
Reparatur		1,33	1,30	1,29	1,30	1,33	1,34	1,31	1,28	1,27	1,30	1,34	1,34	1,29	1,19	1,11	1,07	1,07	1,05	1,01	0,94	0,91	0,92	0,96	1,01
gesamt		48,51	117,54	140,33	81,34	95,17	131,99	142,22	152,02	162,27	123,79	130,71	136,33	140,64	143,75	145,81	146,99	147,38	147,01	145,87	143,96	141,27	137,72	133,22	127,69

Output in t

Stahl/Edelstahl	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
aus Gebäudetechnik ebene (Gebäudeebene & Austausch)		236,68	280,62	330,18	384,42	441,93	500,95	559,49	615,53	667,22	713,12	752,26	784,22	809,07	827,27	839,47	846,38	848,59	846,47	840,15	829,49	814,13	793,62	767,47	735,30
davon 1981 bis 1990		42,56	44,58	44,99	43,76	41,01	37,06	32,30	27,19	22,14	17,49	13,45	10,14	7,56	5,64	4,29	3,37	2,78	2,42	2,20	2,08	2,01	1,98	1,96	1,95
davon ab 1991		194,12	236,04	285,19	340,66	400,92	463,90	527,19	588,34	645,08	695,63	738,81	774,08	801,52	821,63	835,18	843,01	845,80	844,05	837,95	827,41	812,12	791,64	765,51	733,35
aus Gebäudetechnik ebene (Abbau, Mierfläche)		149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reparatur		100,34	98,62	97,57	98,48	100,36	101,04	99,37	96,71	95,82	97,95	101,04	101,40	97,14	89,99	83,75	80,90	80,53	79,55	76,03	71,41	68,81	69,58	72,58	76,41
gesamt		486,95	529,16	577,67	632,82	692,21	751,92	808,79	862,16	912,97	960,99	1.003,23	1.035,55	1.056,13	1.067,18	923,23	927,28	929,12	926,02	916,18	900,89	882,94	863,20	840,06	811,71

Aluminium																									
aus Gebäudetechnik ebene (Gebäudeebene & Austausch)		35,60	42,76	51,01	60,20	70,09	80,33	90,58	100,43	109,56	117,68	124,61	130,26	134,67	137,89	140,06	141,30	141,73	141,41	140,37	138,60	136,03	132,61	128,23	122,85
davon 1981 bis 1990		3,12	3,26	3,29	3,20	3,00	2,71	2,37	1,99	1,62	1,28	0,98	0,74	0,55	0,41	0,31	0,25	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14
davon ab 1991		32,48	39,49	47,72	57,00	67,08	77,62	88,21	98,44	107,94	116,40	123,62	129,52	134,11	137,48	139,75	141,06	141,52	141,23	140,21	138,44	135,89	132,46	128,09	122,71
aus Gebäudetechnik ebene (Abbau, Mierfläche)		23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reparatur		1,33	1,30	1,29	1,30	1,33	1,34	1,31	1,28	1,27	1,30	1,34	1,34	1,29	1,19	1,11	1,07	1,07	1,05	1,01	0,94	0,91	0,92	0,96	1,01
gesamt		60,47	67,60	75,84	85,05	94,95	105,21	115,43	125,25	134,37	142,51	149,48	155,15	159,49	162,62	141,17	142,37	142,79	142,46	141,38	139,54	136,94	133,53	129,19	123,86

Rohstofflager in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	
Lager Stahl/Edelstahl		19,192	19,079	19,324	19,652	19,583	19,537	19,645	19,755	19,865	19,984	19,833	19,682	19,533	19,384	19,235	19,236	19,238	19,240	19,242	19,243	19,245	19,247	19,248	19,249	19,250
Lager Aluminium		3,162	3,150	3,200	3,265	3,261	3,261	3,288	3,315	3,341	3,369	3,351	3,332	3,313	3,294	3,275	3,280	3,285	3,289	3,294	3,298	3,303	3,307	3,311	3,315	3,319

A5.5 Teilmodell Einkaufszentren, Szenario *Innenstadtstärkung*

Gebäudeebene
Input in 1.000 m² Mietfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Neubau																									
davon Stadtrellage																									
davon Innenstadt (plus Factory Outlet-Center)																									
Revitalisierung (Innenstadt-Quartiere)																									
Input gesamt																									

Output in 1.000 m² Mietfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Abbrüche (nur Innenstadt, Revitalisierung)																									
Output gesamt (nur Innenstadt)																									

Lager in 1.000 m² Mietfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Grüne Wiese (gerundet)																									
Stadtrellage (gerundet)																									
Innenstadt (gerundet)																									
Lager gesamt (gerundet)																									

Gebäudetechnikebene

Input in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
durch Input Gebäudeebene (in Malfäche)																									
davon Stadtrellage																									
davon Innenstadt																									
durch Austausch nach Nutzungsende																									
durch Hybrid-Center																									
Input gesamt																									

Output in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aus Gebäudeebene																									
davon 1981 bis 1990																									
davon ab 1991																									
Austausch nach Nutzungsende																									
davon 1981 bis 1990																									
davon ab 1991																									
Abbau (in Malfäche)																									
davon 1981 bis 1990																									
davon ab 1991																									
Output gesamt																									
davon 1981 bis 1990																									
davon ab 1991																									

Lager in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager gesamt																									
davon 1981 bis 1990																									
davon ab 1991																									

A5.6 Teilmodell Einkaufszentren, Szenario *Übersorgung*

Rohstoffebene

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Reparaturbedürftige Fahrerpfen (ab 1991)		183	180	178	180	183	184	181	177	175	179	184	185	177	164	153	148	147	145	138	129	123	123	124	124

Input in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl/Edelstahl																									
aus Gebäudetechnikene (Mallfläche)		260,81	662,12	794,66	460,67	540,91	484,15	543,78	600,93	660,57	707,44	738,46	771,10	796,49	815,08	827,56	834,64	836,94	834,85	828,51	817,77	802,29	781,61	755,25	722,80
Reparatur		100,35	98,62	97,57	98,48	100,36	101,04	99,37	96,71	95,82	97,95	101,04	101,40	97,14	89,99	83,75	80,88	80,47	79,38	75,66	70,70	67,56	67,28	68,15	68,16
gesamt		361,16	760,74	892,23	559,16	641,27	585,19	643,15	697,64	756,39	805,39	839,50	872,51	896,63	905,07	911,31	915,52	917,41	914,24	904,17	888,47	869,85	848,90	823,40	790,96
Aluminium																									
aus Gebäudetechnikene (Mallfläche)		44,88	113,93	136,73	79,27	93,07	83,31	93,57	103,40	113,66	121,73	127,06	132,68	137,05	140,25	142,40	143,61	144,01	143,65	142,56	140,71	138,05	134,49	129,95	124,37
Reparatur		1,33	1,30	1,29	1,30	1,33	1,34	1,31	1,28	1,27	1,30	1,34	1,34	1,29	1,19	1,11	1,07	1,06	1,05	1,00	0,94	0,89	0,89	0,90	0,90
gesamt		46,20	115,23	138,03	80,57	94,40	84,64	94,88	104,68	114,93	123,02	128,40	134,02	138,33	141,44	143,50	144,68	145,07	144,70	143,56	141,65	138,94	135,38	130,85	125,27

Output in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl/Edelstahl																									
aus Gebäudetechnikene (Gebäudeebene & Austausch)		270,73	314,67	364,23	418,47	475,98	535,00	593,54	649,57	701,27	747,17	786,31	818,27	843,12	861,32	873,52	880,43	882,64	880,52	874,20	863,53	848,18	827,67	801,52	769,35
davon 1981 bis 1990		43,54	45,55	45,97	44,73	41,98	38,03	33,27	28,16	23,11	18,46	14,42	11,11	8,53	6,62	5,26	4,35	3,76	3,39	3,18	3,05	2,99	2,95	2,93	2,93
davon ab 1991		227,20	269,11	318,26	373,74	434,00	496,97	560,27	621,41	678,16	728,71	771,89	807,16	834,59	854,70	868,26	876,08	878,88	877,13	871,02	860,48	845,19	824,72	798,59	766,42
aus Gebäudetechnikene (Abbau, Mierfläche)		149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reparatur		100,35	98,62	97,57	98,48	100,36	101,04	99,37	96,71	95,82	97,95	101,04	101,40	97,14	89,99	83,75	80,88	80,47	79,38	75,66	70,70	67,56	67,28	68,15	68,16
gesamt		521,00	563,21	611,72	668,87	726,26	785,96	842,84	896,21	947,02	995,04	1.037,27	1.069,59	1.090,18	1.101,23	957,27	961,31	963,10	959,90	949,86	934,24	915,74	894,95	869,67	837,51
Aluminium																									
aus Gebäudetechnikene (Gebäudeebene & Austausch)		41,20	48,36	56,62	65,81	75,69	85,94	96,18	106,04	115,16	123,28	130,21	135,87	140,27	143,50	145,67	146,91	147,33	147,01	145,98	144,20	141,64	138,21	133,84	128,45
davon 1981 bis 1990		3,19	3,34	3,37	3,28	3,07	2,78	2,44	2,06	1,69	1,35	1,06	0,81	0,62	0,48	0,39	0,32	0,28	0,25	0,23	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21
davon ab 1991		38,02	45,03	53,25	62,53	72,62	83,16	93,75	103,98	113,47	121,93	129,15	135,06	139,65	143,01	145,28	146,59	147,06	146,76	145,74	143,98	141,42	138,00	133,62	128,24
aus Gebäudetechnikene (Abbau, Mierfläche)		23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reparatur		1,33	1,30	1,29	1,30	1,33	1,34	1,31	1,28	1,27	1,30	1,34	1,34	1,29	1,19	1,11	1,07	1,06	1,05	1,00	0,94	0,89	0,89	0,90	0,90
gesamt		66,07	73,21	81,45	90,65	100,56	110,82	121,04	130,86	139,97	148,12	155,09	160,75	165,10	168,23	146,77	147,98	148,40	148,06	146,98	145,14	142,53	139,10	134,74	129,36

Rohstofflager in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager Stahl/Edelstahl	19,192	19,032	19,229	19,510	19,402	19,317	19,116	18,917	18,718	18,528	18,338	18,140	17,943	17,747	17,550	17,504	17,459	17,413	17,367	17,322	17,276	17,230	17,184	17,138	17,091
Lager Aluminium	3,162	3,142	3,184	3,241	3,231	3,225	3,198	3,172	3,146	3,121	3,096	3,069	3,043	3,016	2,989	2,986	2,982	2,979	2,976	2,972	2,969	2,965	2,962	2,958	2,954

Gebäudeebene
Input in 1.000 m² Mietfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Neubau		30,00	213,70	213,70	213,70	213,70	213,70	213,70	213,70	240,17	240,17	9,30	9,30	9,30	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
davon Stadteillage		0	66,30	13,00	65,00	80,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon Innenstadt		30,00	147,40	219,70	165,87	150,87	230,87	230,87	230,87	230,87	230,87	230,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon Factory-Outlet-Center (Innenstadt)		0	0	0	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
Revitalisierung (Innenstadt)		24,10	24,10	24,10	24,10	24,10	24,10	24,10	24,10	24,10	24,10	0	0	0	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35
Input gesamt		54,10	237,80	256,80	261,17	261,17	261,17	261,17	264,27	264,27	264,27	9,30	9,30	9,30	6,98	6,98	6,98	6,98	6,98	6,98	6,98	6,98	6,98	28,58	28,58
Zubau klassische & multifunktionale EKZ über Sättigungsgrenze							49,97	229,27	229,27	248,55	248,55														

Output in 1.000 m² Mietfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Abbrüche (nur Innenstadt)																									
davon mit anderer Nachnutzung			6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	47,65	226,95	226,95	246,22	246,22	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
davon Revitalisierung (Nachnutzung EKZ oder FOC)		19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	0	0	0	0	0	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60
Output gesamt (nur Innenstadt)		25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	49,97	229,27	229,27	248,55	248,55	4,10	23,38	23,38	23,38	23,38	23,38

Lager in 1.000 m² Mietfläche

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Grüne Wiese (gerundet)	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086
Stadteillage (gerundet)	3.816	3.816	3.882	3.895	3.960	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040
Innenstadt (gerundet)	4.819	4.847	4.993	5.211	5.382	5.537	5.772	6.008	6.243	6.501	6.759	6.762	6.765	6.768	6.725	6.902	6.280	6.039	5.797	5.800	5.783	5.767	5.772	5.777	5.783
Lager gesamt (gerundet)	9.721	9.749	9.961	10.192	10.428	10.663	10.899	11.134	11.370	11.627	11.885	11.888	11.891	11.894	11.851	11.629	11.406	11.165	10.923	10.926	10.910	10.893	10.898	10.904	10.909

Gebäudetechnikebene

Input in Stück Durchschnittsfahrtreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
durch Input Gebäudeebene (in Mallfläche)	27	107	125	118	116	116	129	129	129	131	131	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	14	14	14
davon Stadteillage	0	22	4	21	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon Innenstadt	27	85	121	97	90	129	129	129	129	131	131	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	14	14	14
durch Austausch nach Nutzungsende	37	47	58	70	83	96	110	123	134	145	154	161	167	171	174	174	175	176	175	174	171	168	163	157	150
Input gesamt	64	153	183	188	199	226	239	252	265	265	276	158	166	171	174	177	179	179	179	177	175	171	178	172	164

Output in Stück Durchschnittsfahrtreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aus Gebäudeebene	15	15	15	15	15	15	15	15	15	4	4	4	4	4	4	30	136	136	148	2	14	14	14	14	14
davon 1981 bis 1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	4	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991	15	15	15	15	15	15	15	15	15	4	4	4	4	4	4	29	133	133	144	144	2	14	14	14	14
Austausch nach Nutzungsende	37	47	58	70	83	96	110	123	134	145	154	161	167	171	174	174	175	176	175	174	171	168	163	157	150
davon 1981 bis 1990	8	8	8	8	8	7	6	5	4	3	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991	29	38	49	62	75	90	104	118	130	142	151	159	166	170	173	173	175	176	175	174	171	168	163	157	150
Abbau (in Mietfläche)	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Output gesamt	86	96	107	119	132	146	159	172	172	183	192	199	199	205	235	310	311	323	323	176	185	182	177	171	164
davon 1981 bis 1990	9	10	10	9	9	8	7	6	5	4	3	3	2	2	2	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991	77	86	97	110	124	138	152	166	167	167	179	188	196	203	232	306	308	320	319	176	185	182	177	171	164

Lager in Stück Durchschnittsfahrtreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager gesamt	4.305	4.282	4.339	4.415	4.484	4.550	4.630	4.710	4.790	4.883	4.976	4.943	4.910	4.876	4.816	4.683	4.550	4.406	4.262	4.263	4.252	4.242	4.242	4.242	4.243
davon 1981 bis 1990	108	99	89	79	70	61	53	46	39	35	31	27	25	23	20	16	13	9	5	5	5	4	4	4	3
davon ab 1991	4.197	4.183	4.250	4.335	4.414	4.489	4.577	4.665	4.751	4.849	4.946	4.916	4.885	4.854	4.796	4.667	4.538	4.397	4.257	4.258	4.248	4.238	4.239	4.240	4.240

Rohstoffebene

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Reparaturbedürftige Fahrradpedale (ab 1991)		183	180	178	180	183	184	181	177	175	179	184	185	177	164	153	148	147	146	140	134	135	146	164	183

Input in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl/Edelstahl																									
aus Gebäudetechnikenebene (Müllfläche)		284,93	686,24	818,78	843,86	890,82	1.011,55	1.071,18	1.128,33	1.187,98	1.234,85	709,11	741,75	767,14	780,57	793,05	800,13	802,43	800,34	793,99	783,26	767,78	795,03	768,66	736,22
Reparatur		100,34	98,62	97,57	98,48	100,36	101,04	99,37	96,71	95,82	97,95	101,04	101,40	97,14	89,99	83,76	80,92	80,60	79,81	76,83	73,59	73,95	79,83	89,67	100,39
gesamt		385,27	784,86	916,35	942,34	991,18	1.112,59	1.170,55	1.225,04	1.283,80	1.332,79	810,15	843,16	864,28	870,56	876,80	881,04	883,03	880,15	870,82	856,84	841,73	874,86	858,33	836,61
Aluminium																									
aus Gebäudetechnikenebene (Müllfläche)		49,03	118,08	140,88	145,20	153,28	174,05	184,31	194,15	204,41	212,48	122,01	127,63	132,00	134,31	136,46	137,68	138,07	137,71	136,62	134,77	132,11	136,80	132,26	126,68
Reparatur		1,33	1,30	1,29	1,30	1,33	1,34	1,31	1,28	1,27	1,30	1,34	1,34	1,29	1,19	1,11	1,07	1,07	1,06	1,02	0,97	0,98	1,06	1,19	1,33
gesamt		50,35	119,38	142,18	146,50	154,61	175,39	185,63	195,43	205,68	213,77	123,35	128,97	133,28	135,50	137,57	138,75	139,14	138,77	137,64	135,75	133,09	137,85	133,45	128,01

Output in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl/Edelstahl																									
aus Gebäudetechnikenebene (Gebäudeebene & Austausch)		236,68	280,62	330,18	384,42	441,93	500,95	559,49	615,53	616,15	662,05	701,19	733,15	758,00	891,58	1.378,87	1.385,78	1.439,06	1.436,95	782,92	823,33	807,97	787,46	761,31	729,14
davon 1981 bis 1990		42,56	44,58	44,99	43,76	41,01	37,06	32,30	27,19	20,68	16,03	11,99	8,68	6,10	7,48	19,71	18,79	19,66	19,29	0,57	1,90	1,84	1,80	1,79	1,78
davon ab 1991		194,12	236,04	285,19	340,66	400,92	463,90	527,19	588,34	595,47	646,02	689,20	724,47	751,90	884,10	1.359,17	1.366,99	1.419,41	1.417,65	782,35	821,42	806,13	785,66	759,53	727,36
aus Gebäudetechnikenebene (Abbau, Miedfläche)		149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	149,92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	145,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reparatur		100,34	98,62	97,57	98,48	100,36	101,04	99,37	96,71	95,82	97,95	101,04	101,40	97,14	89,99	83,76	80,92	80,60	79,81	76,83	73,59	73,95	79,83	89,67	100,39
gesamt		486,95	529,16	577,67	632,82	692,21	751,92	808,79	862,16	861,89	909,92	952,15	984,47	1.005,06	1.131,49	1.462,63	1.466,70	1.519,67	1.516,76	859,74	896,91	881,92	867,29	850,98	829,53

Aluminium																									
aus Gebäudetechnikenebene (Gebäudeebene & Austausch)		35,60	42,76	51,01	60,20	70,09	80,33	90,58	100,43	101,15	109,27	116,20	121,86	126,26	148,48	228,86	230,11	238,94	238,62	130,95	137,58	135,02	131,59	127,22	121,83
davon 1981 bis 1990		3,12	3,26	3,29	3,20	3,00	2,71	2,37	1,99	1,51	1,17	0,88	0,64	0,45	0,55	1,44	1,38	1,44	1,41	0,04	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13
davon ab 1991		32,48	39,49	47,72	57,00	67,08	77,62	88,21	98,44	99,64	108,09	115,32	121,22	125,81	147,93	227,42	228,73	237,50	237,21	130,91	137,44	134,89	131,46	127,09	121,70
aus Gebäudetechnikenebene (Abbau, Miedfläche)		23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	23,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	23,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reparatur		1,33	1,30	1,29	1,30	1,33	1,34	1,31	1,28	1,27	1,30	1,34	1,34	1,29	1,19	1,11	1,07	1,07	1,06	1,02	0,97	0,98	1,06	1,19	1,33
gesamt		60,47	67,60	75,84	85,05	94,95	105,21	115,43	125,25	125,96	134,10	141,07	146,74	151,08	173,21	229,97	231,18	240,01	239,68	131,96	138,56	136,00	132,65	128,40	123,16

Rohstofflager in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager Stahl/Edelstahl	19,192	19,090	19,346	19,684	19,994	20,293	20,654	21,015	21,378	21,800	22,223	22,081	21,940	21,799	21,538	20,952	20,367	19,730	19,093	19,104	19,064	19,024	19,032	19,039	19,046
Lager Aluminium	3,162	3,152	3,204	3,270	3,332	3,391	3,461	3,532	3,602	3,681	3,761	3,743	3,726	3,708	3,670	3,578	3,485	3,384	3,284	3,289	3,286	3,283	3,289	3,294	3,299

Gebäudetechnikebene

Input in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Zubau		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Austausch nach Nutzungsende		151	155	159	161	162	162	161	159	157	154	151	148	145	142	139	136	133	131	129	127	125	123	122	120
Input gesamt		152	156	160	162	163	163	162	160	158	155	152	149	146	143	139	136	133	131	129	127	125	123	122	120

Output in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Abbau		3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
davon bis 1980		2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Austausch nach Nutzungsende		151	155	159	161	162	162	161	159	157	154	151	148	145	142	139	136	133	131	129	127	125	123	122	120
davon bis 1980		13	11	9	8	6	5	4	3	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		88	86	83	79	73	67	60	53	46	39	32	26	21	17	13	10	7	5	4	3	2	1	1	1
davon ab 1991		50	58	66	74	82	90	97	104	109	114	118	121	123	125	126	126	126	125	125	124	123	122	121	120
Output gesamt		154	158	162	164	165	165	163	161	159	155	152	149	146	143	140	137	134	132	130	128	126	124	123	121
davon bis 1980		15	13	11	10	8	7	5	4	3	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		89	87	84	80	74	68	61	54	47	40	33	27	22	18	14	11	8	6	5	4	3	2	2	2
davon ab 1991		50	58	66	74	82	90	97	104	109	114	118	121	123	125	126	126	126	125	125	124	123	122	121	120

Lager in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager gesamt	4.040	4.038	4.036	4.034	4.032	4.030	4.028	4.027	4.026	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.024	4.023	4.022	4.021	4.020	4.019	4.018	4.017	4.016	4.015
davon bis 1980	77	62	49	38	28	20	13	8	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990	957	868	780	696	616	542	474	413	360	313	273	240	212	190	172	158	147	139	133	128	124	121	119	117	116
davon ab 1991	3.005	3.108	3.206	3.300	3.387	3.468	3.541	3.605	3.662	3.711	3.752	3.787	3.815	3.838	3.856	3.869	3.879	3.886	3.892	3.896	3.899	3.900	3.902	3.903	3.903

Rohstoffebene

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Reparaturbedürftige Fahrerpepen		119	116	116	117	118	120	121	122	122	122	118	113	110	112	120	132	144	153	158	160	161	160	159	155

Input in t

2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl/Edelstahl																								
aus Gebäudetechnikebene		945,28	971,63	991,05	1.003,68	1.009,84	1.010,01	1.004,87	995,14	981,67	965,33	946,95	927,35	907,28	887,37	861,95	843,86	827,18	812,07	798,56	786,58	775,93	766,29	757,26
Reparatur		99,52	97,30	96,78	97,55	98,86	100,07	100,92	101,66	102,26	101,71	98,94	94,75	92,00	93,70	100,53	110,42	120,13	127,41	131,75	133,78	134,31	133,84	132,50
gesamt		1.044,80	1.068,93	1.087,83	1.101,23	1.108,70	1.110,08	1.105,78	1.096,80	1.083,93	1.067,03	1.045,89	1.022,10	999,28	981,07	962,48	954,28	947,32	939,48	930,31	920,36	910,23	900,13	889,76
Aluminium																								
aus Gebäudetechnikebene		176,30	181,21	184,83	187,19	188,34	188,37	187,41	185,60	183,08	180,03	176,61	172,95	169,21	165,50	160,75	157,38	154,27	151,45	148,93	146,70	144,71	142,91	141,23
Reparatur		1,34	1,31	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37	1,38	1,37	1,34	1,28	1,24	1,26	1,36	1,49	1,62	1,72	1,78	1,81	1,81	1,79	1,75
gesamt		177,64	182,52	186,14	188,50	189,67	189,72	188,77	186,97	184,46	181,41	177,94	174,23	170,45	166,76	162,11	158,87	155,89	153,17	150,71	148,50	146,52	144,72	143,02

Output in t

2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl/Edelstahl																								
aus Gebäudetechnikebene		1.074,64	1.095,64	1.108,45	1.113,45	1.111,24	1.102,62	1.080,39	1.061,86	1.039,94	1.007,55	981,96	955,94	925,94	905,59	882,41	861,09	841,82	824,69	809,64	796,51	785,00	774,76	765,30
davon vor 1980		121,96	106,87	92,37	78,90	66,77	56,17	39,02	31,57	25,55	12,68	9,04	6,32	0,00	2,91	1,91	1,23	0,78	0,48	0,29	0,17	0,10	0,06	0,03
davon 1981 bis 1990		642,75	629,80	606,57	574,16	534,11	488,26	438,61	387,19	335,89	286,38	240,02	197,81	160,39	128,04	100,76	78,28	60,20	45,97	35,03	26,80	20,74	16,37	13,30
davon ab 1991		309,94	358,97	409,51	460,39	510,36	558,19	602,76	643,10	678,50	708,50	732,90	751,81	765,55	774,64	779,75	781,57	780,85	778,24	774,32	769,54	764,17	758,33	751,97
Reparatur		99,52	97,30	96,78	97,55	98,86	100,07	100,92	101,66	102,26	101,71	98,94	94,75	92,00	93,70	100,53	110,42	120,13	127,41	131,75	133,78	134,31	133,84	132,50
gesamt		1.174,16	1.192,94	1.205,23	1.210,99	1.210,10	1.202,69	1.181,31	1.163,52	1.142,20	1.109,25	1.080,90	1.050,69	1.017,94	999,29	982,95	971,51	961,96	952,10	941,39	930,28	919,31	908,60	897,80
Aluminium																								
aus Gebäudetechnikebene		109,21	117,32	124,89	131,78	137,90	143,15	147,49	150,91	153,41	155,04	155,88	156,03	155,60	154,71	153,48	152,03	150,44	148,82	147,21	145,66	144,18	142,74	141,31
davon vor 1980		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		51,41	50,37	48,51	45,92	42,72	39,05	35,08	30,97	26,86	22,90	19,20	15,82	12,83	10,24	8,06	6,26	4,81	3,68	2,80	2,14	1,66	1,31	1,06
davon ab 1991		57,80	66,95	76,37	85,86	95,18	104,10	112,41	119,94	126,54	132,14	136,69	140,21	142,78	144,47	145,42	145,76	145,63	145,14	144,41	143,52	142,52	141,43	140,24
Reparatur		1,34	1,31	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37	1,38	1,37	1,34	1,28	1,24	1,26	1,36	1,49	1,62	1,72	1,78	1,81	1,81	1,79	1,75
gesamt		110,55	118,63	126,19	133,10	139,23	144,50	148,86	152,28	154,79	156,41	157,22	157,31	156,84	155,98	154,84	153,52	152,06	150,54	148,99	147,47	145,99	144,54	143,09

Rohstofflager in t

2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager Stahl/Edelstahl																								
	26,191	26,062	25,938	25,820	25,710	25,609	25,516	25,441	25,374	25,316	25,274	25,239	25,210	25,191	25,173	25,153	25,135	25,121	25,108	25,097	25,087	25,078	25,070	25,062
Lager Aluminium	4,033	4,100	4,164	4,224	4,280	4,330	4,375	4,415	4,450	4,480	4,505	4,525	4,542	4,556	4,567	4,574	4,579	4,583	4,586	4,587	4,588	4,589	4,589	4,589

A5.8 Teilmodell Verkehrsflughäfen

Gebäudetechnikebene
Input in Stück Durchschnittsfahrtreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
durch Gebäudeebene		0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	13	0	56	0	0	0	0	0	0	0
Zubau		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Austausch nach Nutzungsende		7	8	10	12	14	15	16	17	17	17	16	15	14	12	11	10	8	7	7	7	6	6	6	6
Input gesamt		7	8	10	12	14	15	16	17	35	17	16	15	14	26	11	65	8	7	7	7	6	6	6	6

Output in Stück Durchschnittsfahrtreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
durch Gebäudeebene		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Austausch nach Nutzungsende		7	8	10	12	14	15	16	17	17	17	16	15	14	12	11	10	8	7	7	7	6	6	6	6
Output gesamt		7	8	10	12	14	15	16	17	17	22	16	15	14	12	11	10	8	7	7	7	6	6	6	6

Lager in Stück Durchschnittsfahrtreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager gesamt	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	387	382	382	382	382	395	395	451	451	451	451	451	451	451	451

Rohstoffebene

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Reparaturbedürftige Fahrtreppen		6	6	5	5	4	3	3	3	4	5	8	10	13	14	14	12	12	13	16	19	21	22	23	22

Input in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl/Edelstahl																									
aus Gebäudetechnikebene		39,67	50,40	61,85	73,32	84,03	93,16	99,99	104,01	211,95	102,95	98,31	91,61	83,56	156,16	66,25	397,27	51,16	45,36	40,94	37,91	36,18	35,60	35,90	36,78
Reparatur		4,92	4,43	4,24	3,97	3,42	2,73	2,22	2,21	2,86	4,20	6,12	8,36	10,36	11,34	10,99	10,00	9,56	10,40	12,43	14,89	16,92	17,97	18,04	17,35
gesamt		44,59	54,84	66,09	77,29	87,46	95,89	102,22	106,22	214,82	107,16	104,43	99,97	93,92	167,50	77,24	407,27	60,72	55,76	53,36	52,80	53,10	53,57	53,94	54,13
Aluminium																									
aus Gebäudetechnikebene		7,30	9,28	11,39	13,50	15,47	17,15	18,41	19,15	39,02	18,95	18,10	16,86	15,38	28,75	12,20	73,14	9,42	8,35	7,54	6,98	6,66	6,55	6,61	6,77
Reparatur		0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08	0,11	0,14	0,15	0,15	0,14	0,13	0,14	0,17	0,20	0,23	0,24	0,25	0,24
gesamt		7,37	9,34	11,44	13,55	15,52	17,19	18,44	19,18	39,06	19,01	18,18	16,98	15,52	28,90	12,35	73,27	9,55	8,49	7,71	7,18	6,89	6,80	6,86	7,01

Output in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl/Edelstahl																									
aus Gebäudetechnikebene		39,67	50,40	61,85	73,32	84,03	93,16	99,99	104,01	104,97	133,43	98,31	91,61	83,56	74,88	66,25	58,20	51,16	45,36	40,94	37,91	36,18	35,60	35,90	36,78
Reparatur		4,92	4,43	4,24	3,97	3,42	2,73	2,22	2,21	2,86	4,20	6,12	8,36	10,36	11,34	10,99	10,00	9,56	10,40	12,43	14,89	16,92	17,97	18,04	17,35
gesamt		44,59	54,84	66,09	77,29	87,46	95,89	102,22	106,22	107,84	137,64	104,43	99,97	93,92	86,22	77,24	68,21	60,72	55,76	53,36	52,80	53,10	53,57	53,94	54,13
Aluminium																									
aus Gebäudetechnikebene		7,30	9,28	11,39	13,50	15,47	17,15	18,41	19,15	19,33	24,57	18,10	16,86	15,38	13,79	12,20	10,72	9,42	8,35	7,54	6,98	6,66	6,55	6,61	6,77
Reparatur		0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08	0,11	0,14	0,15	0,15	0,14	0,13	0,14	0,17	0,20	0,23	0,24	0,25	0,24
gesamt		7,37	9,34	11,44	13,55	15,52	17,19	18,44	19,18	19,36	24,62	18,18	16,98	15,52	13,94	12,35	10,85	9,55	8,49	7,71	7,18	6,89	6,80	6,86	7,01

Rohstofflager in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager Stahl/Edelstahl	2.251	2.251	2.251	2.251	2.251	2.251	2.251	2.251	2.251	2.358	2.328	2.328	2.328	2.328	2.409	2.409	2.748	2.748	2.748	2.748	2.748	2.748	2.748	2.748	2.748
Lager Aluminium	414	414	414	414	414	414	414	414	414	434	428	428	428	428	443	443	506	506	506	506	506	506	506	506	506

A5.9 Teilmodell Messen

Gebäudetechnikenebene
Input in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
durch Gebäudeebene	18	34	17	17	17	13	12	12	11	10	8	8	9	9	10	10	11	12	12	12	13	13	13	13	13
davon Kapazitätserweiterung	2	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon Modernisierung	16	16	17	17	17	13	12	12	11	10	8	8	9	9	10	10	11	12	12	12	13	13	13	13	13
Austausch nach Nutzungsende	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Input gesamt	18	34	17	17	17	13	12	12	11	10	8	8	9	9	10	10	11	12	12	12	13	13	13	13	13

Output in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
durch Gebäudeebene (Abbrüche)	20	22	21	16	15	14	14	10	9	9	10	11	12	12	13	14	14	15	16	16	16	16	16	16	16
davon bis 1980	17	18	17	11	9	7	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990	3	3	4	5	5	6	6	6	7	7	6	6	5	5	4	3	3	2	2	1	1	0	0	0	0
davon ab 1991	0	0	0	0	1	1	1	1	2	3	4	5	6	8	9	10	12	13	14	15	16	16	16	16	16
Austausch nach Nutzungsende	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Output gesamt	20	22	21	16	15	14	14	10	9	9	10	11	12	12	13	14	14	15	16	16	16	16	16	16	16

Lager in Stück Durchschnittsfahrttreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager gesamt	539	537	549	545	546	544	542	543	542	540	537	535	532	529	525	522	519	515	512	508	505	502	498	495	492
davon bis 1980	82	65	46	29	18	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990	85	82	79	75	70	65	59	53	46	39	33	27	22	17	13	9	6	4	3	1	0	0	0	0	0
davon ab 1991	342	360	394	411	428	440	451	461	467	471	475	478	481	482	483	483	483	482	480	478	475	472	469	466	463

Reparaturbedürftige Fahrtreppen (ab 1991)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
		17	18	20	20	18	15	13	12	12	13	14	13	11	8	6	5	5	5	7	9	11	11	9	5

Input in t

aus Gebäudetechnikenebene	87,90	165,51	84,60	82,02	63,13	59,44	55,87	38,05	33,48	36,54	39,49	42,37	45,21	48,03	50,81	53,49	56,00	58,26	60,32	61,75	62,74	60,84	63,19	62,61
Reparatur	10,47	11,43	12,30	12,27	11,06	9,30	7,88	7,35	7,64	8,26	8,55	8,02	6,72	5,19	3,96	3,18	2,84	3,10	4,10	5,58	6,71	6,66	5,32	3,39
gesamt	98,36	176,94	96,90	94,28	74,19	68,74	63,76	45,40	41,12	44,80	48,04	50,39	51,93	53,22	54,77	56,66	58,84	61,35	64,42	67,33	69,45	67,50	68,51	66,00
Aluminium																								
aus Gebäudetechnikenebene	15,76	29,68	15,17	14,71	11,32	10,66	10,02	6,82	6,00	6,55	7,08	7,60	8,11	8,61	9,11	9,59	10,04	10,45	10,82	11,07	11,25	10,91	11,33	11,23
Reparatur	0,14	0,16	0,17	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,10	0,11	0,12	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,06	0,08	0,09	0,09	0,07	0,05
gesamt	15,90	29,84	15,34	14,87	11,47	10,79	10,13	6,92	6,11	6,67	7,20	7,71	8,20	8,68	9,16	9,63	10,08	10,49	10,87	11,15	11,34	11,00	11,40	11,27

Output in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Stahl/Edelstahl																									
aus Gebäudetechnikenebene																									
davon bis 1980	110,16	115,85	106,43	70,14	58,50	47,09	12,64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990	14,74	18,58	22,63	26,62	30,27	33,31	35,48	36,60	36,58	35,46	33,33	30,40	26,91	23,12	19,29	15,62	12,27	9,35	6,92	4,96	0,00	2,32	1,51	0,95	0,95
davon ab 1991	0,39	0,70	1,19	1,97	3,12	4,78	7,07	10,09	13,92	18,59	24,03	30,13	36,68	43,44	50,12	56,45	62,17	67,11	71,10	74,08	76,03	76,97	76,95	76,07	76,07
Reparatur	10,47	11,43	12,30	12,27	11,06	9,30	7,88	7,35	7,64	8,26	8,55	8,02	6,72	5,19	3,96	3,18	2,84	3,10	4,10	5,58	6,71	6,66	5,32	3,39	3,39
gesamt	135,76	146,57	142,55	110,99	102,96	94,48	63,07	54,04	58,14	62,30	65,91	68,55	70,31	71,75	73,37	75,24	77,28	79,78	82,26	84,68	82,77	85,95	83,78	80,41	80,41

Aluminium	1,22	1,57	1,97	2,42	2,91	3,45	4,02	4,65	5,34	6,09	6,90	7,76	8,67	9,59	10,49	11,34	12,10	12,76	13,29	13,67	13,63	13,98	13,92	13,71
aus Gebäudetechnikenebene																								
davon bis 1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990	1,15	1,44	1,76	2,07	2,35	2,59	2,76	2,84	2,84	2,76	2,59	2,36	2,09	1,80	1,50	1,21	0,95	0,73	0,54	0,39	0,00	0,18	0,12	0,07
davon ab 1991	0,07	0,13	0,21	0,35	0,56	0,86	1,27	1,81	2,50	3,33	4,31	5,40	6,58	7,79	8,99	10,12	11,15	12,03	12,75	13,28	13,63	13,80	13,80	13,64
Reparatur	0,14	0,16	0,17	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,10	0,11	0,12	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,06	0,08	0,09	0,09	0,07	0,05
gesamt	1,36	1,73	2,14	2,59	3,06	3,57	4,13	4,75	5,44	6,20	7,02	7,87	8,76	9,66	10,54	11,38	12,14	12,80	13,34	13,75	13,73	14,07	13,99	13,76

Rohstofflager in t

Lager Stahl/Edelstahl	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
	2,652	2,615	2,645	2,600	2,583	2,554	2,528	2,529	2,521	2,504	2,486	2,468	2,450	2,432	2,413	2,394	2,376	2,357	2,339	2,321	2,304	2,291	2,272	2,257	2,242
Lager Aluminium	334	349	377	390	403	411	418	424	426	427	427	428	427	427	426	425	423	421	418	416	413	411	408	405	403

A5.10 Teilmodell C&A

Gebäudeebene
Input Anzahl Filialen

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Neubau/Ausbau		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Modernisierung - integriert in Gebäudeebene		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Input gesamt		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Output Anzahl Filialen

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Rest Rückzug-Filialen zum Ende des Jahres	85	76	67	58	49	40	31	22	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schließung		9	9	9	9	9	9	9	9	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 20% Abbruch		2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mit Verzögerung 5,5 a		0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 74% Umnutzung mit Entfernung FT		7	7	7	7	7	7	7	7	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mit Verzögerung 0,5a		3	7	7	7	7	7	7	7	7	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Modernisierung - integriert in Gebäudeebene		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Output gesamt		3	7	7	7	7	7	8	8	8	7	3	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Lager Anzahl Filialen

Lager	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
	315	312	305	298	292	285	277	269	261	252	245	242	240	239	237	236	235	235	235	235	235	235	235	235	235

Gebäudetechnikebene
Input in Stück Durchschnittsfahrtstreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
aus Gebäudeebene		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Austausch nach Nutzungsende		35	32	34	35	35	32	29	26	23	23	26	25	23	21	21	22	17	18	21	24	27	30	32	33
Zugebaute Fahrtstreppe		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Input gesamt		35	32	34	35	35	32	29	26	23	23	26	25	23	21	21	22	17	18	21	24	27	30	32	33

Output in Stück Durchschnittsfahrtstreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aus Gebäudeebene		20	39	39	39	39	45	50	50	50	39	19	11	11	11	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0
davon vor 1980		6	11	11	11	11	13	14	14	14	11	5	3	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		2	5	5	5	5	5	6	6	6	5	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		12	24	24	24	24	27	30	30	30	23	12	6	6	6	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Austausch nach Nutzungsende		35	32	34	35	35	32	29	26	23	23	26	25	23	21	21	22	17	18	21	24	27	30	32	33
davon vor 1980 (abzgl. Gebäudeebene)		35	32	34	35	34	32	28	25	21	21	22	20	16	13	10	9	1	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4	5	6	8	9	11	12	14	15	16	16	16	15	12
davon ab 1991		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	6	8	11	14	17	21
Abbau		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Output gesamt		54	71	73	74	74	77	79	76	73	62	45	36	34	32	29	24	17	18	21	24	27	30	32	33
davon vor 1980		40	43	45	46	45	44	42	39	35	32	27	23	19	16	13	10	1	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		2	5	5	5	5	6	7	7	7	8	7	6	6	7	9	10	11	12	14	15	16	16	15	12
davon ab 1991		12	24	24	24	24	27	30	30	30	23	12	7	7	7	6	3	3	4	6	8	11	14	17	21

Lager in Stück Durchschnittsfahrtstreppe

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager	1.855	1.835	1.796	1.757	1.718	1.679	1.634	1.584	1.534	1.485	1.446	1.426	1.416	1.405	1.394	1.387	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384
davon vor 1980	521	481	438	393	347	302	258	216	177	141	110	82	59	46	24	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990	222	219	214	210	205	200	194	187	180	172	165	159	153	146	137	126	115	103	89	74	58	42	27	12	0
davon ab 1991	1.112	1.135	1.144	1.154	1.166	1.177	1.182	1.181	1.178	1.171	1.171	1.185	1.204	1.220	1.234	1.249	1.268	1.281	1.295	1.310	1.326	1.342	1.358	1.373	1.385

Rohstoffebene

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Reparaturbedürftige Fahrtruppen		39	64	66	67	67	67	66	65	65	64	63	62	62	62	63	64	65	67	69	70	72	73	74	74
davon 1981 bis 1990		11	14	12	9	7	5	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		28	50	54	58	60	62	63	63	63	63	62	62	62	62	63	64	65	67	69	70	72	73	74	74

Input in t

Stahl/Edelstahl	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
aus Gebäudetechnikebene		147,76	136,17	144,08	147,78	147,23	136,36	122,03	111,34	98,90	98,69	109,10	107,70	97,80	90,35	89,18	93,70	70,10	77,62	89,86	102,28	114,59	126,45	137,58	139,90
Reparatur		18,91	31,32	32,08	32,53	32,71	32,64	32,38	31,98	31,51	31,05	30,65	30,37	30,28	30,38	30,69	31,20	31,87	32,66	33,50	34,31	35,03	35,60	35,96	36,05
davon 1981 bis 1990		5,28	7,01	5,68	4,44	3,35	2,45	1,72	1,17	0,76	0,48	0,29	0,17	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		13,63	24,31	26,40	28,09	29,36	30,20	30,66	30,81	30,75	30,56	30,35	30,20	30,18	30,33	30,66	31,19	31,87	32,66	33,49	34,31	35,03	35,60	35,96	36,05
gesamt		166,67	167,49	176,16	180,32	179,94	169,00	154,41	143,32	130,41	129,73	139,75	138,07	128,08	120,73	119,87	124,90	101,97	110,28	123,35	136,59	149,62	162,05	173,54	175,95
Aluminium		20,19	18,60	19,68	20,19	20,11	18,63	16,67	15,21	13,51	13,48	14,91	14,71	13,36	12,34	12,18	12,80	9,58	10,60	12,28	13,97	15,65	17,28	18,80	19,11
aus Gebäudetechnikebene		0,19	0,32	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41	0,41
Reparatur		0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		0,16	0,28	0,30	0,32	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41	0,41
davon ab 1991		21,06	19,50	20,64	21,18	21,11	19,57	17,53	16,02	14,25	14,24	15,76	15,57	14,16	13,09	12,93	13,59	10,22	11,32	13,08	14,87	16,64	18,35	19,95	20,06

Output in t

Stahl/Edelstahl	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
aus Gebäudetechnikebene		272,70	348,20	357,96	362,50	361,74	372,47	378,87	365,41	349,70	299,10	221,58	179,19	166,05	155,74	139,47	119,21	77,39	84,61	97,39	110,18	122,60	134,35	145,12	145,94
davon vor 1980		211,56	225,95	235,46	239,59	238,17	231,44	219,91	204,39	185,85	165,35	143,95	122,61	102,16	83,24	66,30	51,58	5,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
davon 1981 bis 1990		11,29	22,55	22,81	23,22	23,87	27,85	32,28	34,29	37,03	34,45	27,87	28,44	34,88	42,09	48,15	52,99	59,16	65,78	70,99	74,35	75,53	74,38	70,99	56,91
Reparatur		49,84	99,69	99,69	99,69	99,70	113,18	126,68	126,72	126,82	99,30	49,76	28,14	29,02	30,40	25,03	14,64	12,98	18,83	26,40	35,83	47,08	59,97	74,13	89,03
davon 1981 bis 1990		18,91	31,32	32,08	32,53	32,71	32,64	32,38	31,98	31,51	31,05	30,65	30,37	30,28	30,38	30,69	31,20	31,87	32,66	33,50	34,31	35,03	35,60	35,96	36,05
davon ab 1991		5,28	7,01	5,68	4,44	3,35	2,45	1,72	1,17	0,76	0,48	0,29	0,17	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0
gesamt		13,63	24,31	26,40	28,09	29,36	30,20	30,66	30,81	30,75	30,56	30,35	30,20	30,18	30,33	30,66	31,19	31,87	32,66	33,49	34,31	35,03	35,60	35,96	36,05
Aluminium		303,33	394,22	405,13	410,34	409,77	421,13	427,80	413,47	396,70	343,20	261,40	216,67	202,87	192,19	175,43	154,62	111,46	119,99	134,19	148,38	162,14	175,05	186,74	185,89
aus Gebäudetechnikebene		7,50	16,00	17,01	18,04	19,08	22,16	25,28	26,41	27,59	24,67	18,50	16,58	18,09	19,72	20,36	20,24	21,39	23,59	25,94	28,43	31,04	33,73	36,46	38,64
davon vor 1980		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon 1981 bis 1990		0,73	1,45	1,46	1,49	1,53	1,78	2,07	2,19	2,36	2,19	1,76	1,78	2,19	2,64	3,02	3,32	3,71	4,13	4,47	4,68	4,76	4,69	4,48	3,47
davon ab 1991		7,17	14,34	14,34	14,34	14,34	16,28	18,22	18,23	18,24	14,28	7,16	4,05	4,17	4,37	3,59	2,09	1,85	2,68	3,76	5,11	6,71	8,55	10,57	12,70
Reparatur		0,19	0,32	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41	0,41
davon 1981 bis 1990		0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
davon ab 1991		0,16	0,28	0,30	0,32	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41	0,41
gesamt		8,09	16,11	16,14	16,18	16,23	18,42	20,65	20,78	20,96	16,82	9,26	6,18	6,71	7,36	6,97	5,78	5,93	7,19	8,61	10,18	11,88	13,65	15,47	16,59

Rohstoffflagger in t

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Lager Stahl/Edelstahl	14,157	14,027	13,804	13,580	13,354	13,129	12,881	12,612	12,345	12,081	11,871	11,753	11,678	11,606	11,538	11,485	11,458	11,451	11,444	11,436	11,428	11,420	11,411	11,404	11,398
Lager Aluminium	1,383	1,396	1,399	1,404	1,409	1,414	1,415	1,412	1,407	1,400	1,398	1,404	1,414	1,421	1,427	1,433	1,441	1,445	1,449	1,453	1,458	1,463	1,468	1,472	1,476

A6. Zusammenführung der Materialflussteilmodelle

A6.1 Gebäudetechnikebene

Fahrtreppen Input in Stück Durchschnittsfahrtreppe

Teilmodelle																								
Warenhäuser																								
S1: Trendszenario S2: Innenstadtsanierung S3: Druck	74	79	77	79	78	73	67	64	55	50	45	40	36	33	32	31	31	33	35	39	44	48	53	57
	74	84	88	89	88	84	81	73	62	53	48	43	40	37	35	34	34	36	38	39	44	48	53	57
	74	73	73	74	74	69	64	60	55	50	45	40	36	33	32	25	25	30	34	39	44	48	53	57
Einkaufszentren																								
S1: Sättigung	61	151	180	104	122	170	183	196	209	159	168	175	181	185	188	189	190	189	188	186	182	178	172	164
S2: Innenstadtsanierung	58	148	177	103	121	108	121	134	147	158	165	172	178	182	185	186	187	186	185	183	179	175	169	161
S3: Überversorgung	64	153	183	188	199	226	239	252	265	276	158	166	171	174	177	179	179	179	177	175	171	178	172	164
Bahnstationen	152	156	160	162	163	163	162	160	158	155	152	149	146	143	139	136	133	131	129	127	125	123	122	120
Flughäfen	7	8	10	12	14	15	16	17	35	17	16	15	14	26	11	65	8	7	7	6	6	6	6	6
Messen	18	34	17	17	13	12	12	11	10	8	8	9	9	10	10	11	12	12	12	13	13	13	13	13
C&A	35	32	34	35	35	32	29	26	23	23	26	25	23	21	22	22	17	18	21	24	27	30	32	33
Szenariokombination 1-1:																								
unbekannt MIN	388	514	535	456	473	519	523	529	548	461	464	462	457	467	448	508	437	436	438	441	443	444	444	440
5-Jahres-Mittel MIN	479	473	473	500	501	500	518	516	505	493	478	462	460	468	463	459	453	452	439	440	442	442	443	443
Gesamtinput MIN	826	934	952	908	925	965	987	990	995	905	893	876	869	887	864	913	844	842	830	835	839	840	840	836
unbekannt MAX	510	677	704	600	623	683	689	696	721	606	610	608	602	615	589	668	574	574	576	580	583	584	585	578
5-Jahres-Mittel MAX	630	623	623	657	660	658	682	679	664	648	629	608	605	616	610	604	596	594	577	579	581	582	583	582
Gesamtinput MAX	977	1.083	1.102	1.065	1.083	1.123	1.151	1.153	1.155	1.061	1.044	1.022	1.014	1.035	1.010	1.058	987	985	969	974	978	979	980	976
Szenariokombination 2-2:																								
unbekannt MIN	384	517	543	467	484	463	470	471	487	464	464	463	458	467	448	508	437	436	438	437	440	441	441	436
5-Jahres-Mittel MIN	482	478	479	495	485	471	475	471	471	470	467	463	460	469	464	459	453	451	438	438	439	439	439	439
Gesamtinput MIN	823	936	960	917	935	914	939	938	941	908	894	876	869	887	864	914	844	842	831	832	836	837	837	833
unbekannt MAX	506	680	715	614	637	609	614	620	641	610	611	609	602	615	589	668	575	574	576	575	579	580	580	574
5-Jahres-Mittel MAX	634	629	630	651	639	620	625	620	620	618	614	609	605	617	610	604	597	594	576	577	578	578	578	578
Gesamtinput MAX	981	1.089	1.109	1.059	1.062	1.084	1.094	1.093	1.110	1.031	1.029	1.023	1.015	1.035	1.010	1.059	987	984	967	971	975	975	976	971
Szenariokombination 3-3:																								
unbekannt MIN	390	511	533	545	555	578	583	588	611	591	453	452	447	455	436	489	418	421	425	429	431	444	425	415
5-Jahres-Mittel MIN	478	495	507	544	559	570	583	590	565	539	511	480	448	456	449	444	438	436	425	430	431	429	429	428
Gesamtinput MIN	828	930	950	988	998	1.017	1.040	1.042	1.051	1.022	884	867	859	876	853	897	827	828	819	824	828	840	823	814
unbekannt MAX	514	672	701	718	730	760	767	773	803	778	596	594	588	599	573	644	550	554	559	564	568	584	559	546
5-Jahres-Mittel MAX	629	651	667	716	735	750	767	776	743	709	672	631	590	600	591	584	576	574	559	566	567	564	564	563
Gesamtinput MAX	976	1.111	1.146	1.124	1.159	1.214	1.235	1.250	1.234	1.121	1.087	1.045	999	1.018	991	1.038	967	965	950	960	964	962	962	956

Fahrtreppen Output in Stück Durchschnittsfahrtreppe

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Teilmodelle																								
Warenhäuser																								
S1: Trendszenario	85	114	83	85	86	92	89	81	76	71	66	62	58	55	53	52	53	54	56	61	65	70	74	69
S2: Innenstadtsanierung	85	111	77	79	81	86	83	73	68	63	58	54	50	47	45	44	45	46	48	49	54	58	58	57
S3: Druck	85	114	84	85	87	93	90	81	76	71	66	62	58	55	53	67	87	91	96	101	111	121	111	97
Einkaufszentren																								
S1: Sättigung	86	96	107	119	132	146	159	172	184	194	203	210	216	220	189	190	191	191	189	187	183	179	173	165
S2: Innenstadtsanierung	94	104	115	127	140	153	167	180	191	202	211	218	224	228	197	198	199	198	197	194	191	186	180	173
S3: Überversorgung	86	96	107	119	132	146	159	172	172	183	192	199	205	235	310	311	323	323	176	185	182	177	171	164
Bahnstationen	154	158	162	164	165	165	163	161	159	155	152	149	146	143	140	137	134	132	130	128	126	124	123	121
Flughäfen	7	8	10	12	14	15	16	17	17	22	16	15	14	12	11	10	8	7	7	6	6	6	6	6
Messen	20	22	21	16	15	14	14	13	10	10	11	12	12	13	14	14	15	16	16	16	16	16	16	16
&A	54	71	73	74	74	77	79	76	73	62	45	36	34	32	29	24	17	18	21	24	27	30	32	33

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Szenariokombination 1-1:																								
unbekannt MIN	454	525	510	525	544	568	580	581	581	575	552	541	536	531	486	478	467	467	468	471	473	475	474	458
5-Jahres-Mittel MIN	496	504	512	535	546	560	571	577	574	566	555	547	529	515	500	486	473	470	469	471	472	470	470	469
Gesamtoutput MIN	903	974	968	1.005	1.032	1.068	1.090	1.098	1.094	1.081	1.051	1.031	1.009	990	935	914	891	888	888	892	895	895	894	879
unbekannt MAX	597	691	671	691	715	748	763	765	764	757	726	712	705	699	640	634	614	616	620	622	625	624	603	
5-Jahres-Mittel MAX	653	663	673	703	718	737	751	760	755	745	733	720	696	677	658	639	623	619	617	619	621	619	619	617
Gesamtoutput MAX	1.059	1.133	1.130	1.174	1.204	1.245	1.270	1.280	1.275	1.260	1.227	1.204	1.176	1.153	1.093	1.068	1.041	1.036	1.036	1.041	1.044	1.044	1.043	1.028
Szenariokombination 2-2:																								
unbekannt MIN	462	530	512	527	546	571	582	581	580	575	551	540	535	530	486	478	466	466	467	467	469	470	464	454
5-Jahres-Mittel MIN	501	508	515	537	547	561	572	578	574	565	556	546	529	514	499	485	473	469	467	468	467	465	464	463
Gesamtoutput MIN	910	978	970	1.006	1.034	1.070	1.092	1.097	1.093	1.081	1.050	1.031	1.008	989	934	914	891	887	887	888	891	891	886	875
unbekannt MAX	609	697	673	693	718	751	766	764	757	745	735	725	711	705	698	639	629	613	615	614	616	611	597	
5-Jahres-Mittel MAX	660	668	678	707	720	738	752	760	755	744	732	719	696	676	657	637	622	617	614	615	615	612	611	609
Gesamtoutput MAX	1.066	1.138	1.135	1.177	1.207	1.247	1.272	1.281	1.275	1.259	1.226	1.203	1.175	1.152	1.092	1.067	1.040	1.034	1.033	1.037	1.038	1.036	1.035	1.019
Szenariokombination 3-3:																								
unbekannt MIN	454	525	510	526	544	569	582	581	568	563	539	528	523	547	621	630	653	656	498	514	522	530	514	489
5-Jahres-Mittel MIN	497	504	512	535	546	560	569	573	567	556	544	540	552	570	595	622	612	590	569	544	516	514	514	511
Gesamtoutput MIN	903	974	969	1.005	1.033	1.070	1.090	1.093	1.075	1.059	1.027	1.013	1.020	1.060	1.151	1.185	1.196	1.178	1.014	1.004	983	988	974	949
unbekannt MAX	597	691	672	692	716	749	765	765	747	740	709	695	689	720	818	829	859	863	655	677	687	697	676	643
5-Jahres-Mittel MAX	653	663	674	704	719	737	749	753	745	731	716	711	726	750	783	818	805	777	748	716	678	676	676	672
Gesamtoutput MAX	1.060	1.133	1.130	1.174	1.205	1.246	1.268	1.274	1.265	1.246	1.210	1.195	1.206	1.225	1.218	1.246	1.223	1.194	1.167	1.137	1.102	1.101	1.100	1.083

Fahrtreppen Lager in Stück Durchschnittsfahrtreppe

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Teilmodelle																								
Warenhäuser																								
S1: Trendsenario	3.051	3.015	3.009	3.003	2.994	2.975	2.954	2.936	2.914	2.893	2.871	2.850	2.828	2.806	2.785	2.763	2.742	2.720	2.698	2.677	2.655	2.634	2.612	2.600
S2: Innenstadtstärkung	3.061	3.051	3.023	3.034	3.045	3.053	3.050	3.049	3.049	3.043	3.033	3.023	3.013	3.003	2.993	2.983	2.972	2.962	2.952	2.942	2.932	2.922	2.912	2.906
S3: Druck	3.061	3.051	3.009	2.998	2.988	2.974	2.950	2.924	2.903	2.881	2.859	2.838	2.816	2.795	2.773	2.751	2.710	2.648	2.586	2.524	2.463	2.396	2.323	2.247
Einkaufszentren																								
S1: Sättigung	4.280	4.335	4.408	4.392	4.382	4.405	4.429	4.453	4.478	4.443	4.407	4.372	4.337	4.302	4.301	4.299	4.298	4.297	4.296	4.295	4.294	4.293	4.292	4.290
S2: Innenstadtstärkung	4.269	4.313	4.376	4.352	4.332	4.287	4.242	4.196	4.152	4.108	4.063	4.017	3.971	3.925	3.913	3.902	3.890	3.878	3.866	3.854	3.843	3.831	3.819	3.807
S3: Übersversorgung	4.282	4.339	4.415	4.484	4.550	4.630	4.710	4.790	4.883	4.976	4.943	4.910	4.876	4.816	4.683	4.550	4.406	4.262	4.263	4.252	4.242	4.242	4.242	4.243
Bahnstationen	4.038	4.036	4.034	4.032	4.030	4.028	4.027	4.026	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.024	4.023	4.022	4.021	4.020	4.019	4.018	4.017	4.016	4.015
Flughäfen	369	369	369	369	369	369	369	369	387	382	382	382	382	395	395	451	451	451	451	451	451	451	451	451
Messen	537	549	545	546	544	542	539	537	537	536	533	530	527	524	520	517	513	510	506	503	500	496	493	490
C&A	1.855	1.835	1.796	1.757	1.718	1.679	1.634	1.584	1.534	1.485	1.446	1.426	1.416	1.405	1.394	1.387	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384
Szenariokombination 1-1:																								
unbekannt MIN	15.814	15.783	15.745	15.710	15.666	15.606	15.554	15.492	15.423	15.350	15.271	15.187	15.117	15.071	15.034	15.007	14.987	14.969	14.939	14.908	14.878	14.850	14.823	14.796
Gesamtlager MIN	29.943	29.922	29.906	29.809	29.702	29.604	29.506	29.398	29.295	29.112	28.935	28.771	28.631	28.528	28.454	28.447	28.398	28.352	28.295	28.237	28.181	28.125	28.071	28.028
unbekannt MAX	20.808	20.768	20.718	20.672	20.613	20.535	20.466	20.385	20.295	20.198	20.095	19.983	19.891	19.831	19.783	19.747	19.721	19.696	19.657	19.617	19.577	19.540	19.505	19.470
Gesamtlager MAX	34.937	34.907	34.879	34.771	34.650	34.533	34.418	34.291	34.170	33.960	33.758	33.568	33.406	33.288	33.202	33.187	33.131	33.080	33.013	32.946	32.880	32.816	32.753	32.701
Szenariokombination 2-2:																								
unbekannt MIN	15.811	15.781	15.745	15.703	15.641	15.551	15.454	15.347	15.245	15.149	15.060	14.976	14.908	14.862	14.827	14.801	14.782	14.764	14.735	14.706	14.677	14.652	14.627	14.603
Gesamtlager MIN	29.940	29.935	29.889	29.793	29.679	29.508	29.316	29.109	28.930	28.728	28.541	28.379	28.241	28.139	28.067	28.062	28.014	27.971	27.915	27.859	27.805	27.753	27.702	27.658
unbekannt MAX	20.805	20.765	20.718	20.662	20.581	20.462	20.335	20.195	20.060	19.934	19.816	19.706	19.616	19.556	19.510	19.476	19.450	19.427	19.389	19.350	19.313	19.279	19.246	19.215
Gesamtlager MAX	34.934	34.919	34.862	34.752	34.619	34.419	34.197	33.957	33.745	33.512	33.297	33.109	32.949	32.833	32.749	32.683	32.634	32.569	32.504	32.441	32.381	32.322	32.270	
Szenariokombination 3-3:																								
unbekannt MIN	15.801	15.783	15.774	15.768	15.778	15.790	15.799	15.813	15.830	15.829	15.812	15.778	15.718	15.614	15.500	15.354	15.176	15.002	14.848	14.704	14.590	14.505	14.420	14.335
Gesamtlager MIN	29.944	29.962	29.943	29.955	29.977	30.012	30.030	30.044	30.100	30.113	29.999	29.889	29.760	29.574	29.290	29.033	28.663	28.278	28.059	27.838	27.648	27.492	27.330	27.166
unbekannt MAX	20.806	20.795	20.788	20.800	20.816	20.828	20.846	20.869	20.867	20.845	20.801	20.721	20.585	20.435	20.242	20.009	19.780	19.577	19.388	19.272	19.126	19.014	18.902	18.792
Gesamtlager MAX	34.949	34.974	34.957	34.987	35.015	35.050	35.077	35.101	35.137	35.129	34.988	34.832	34.627	34.394	34.033	33.688	33.266	32.853	32.599	32.377	32.184	32.000	31.812	31.623

A6.2 Rohstoffebene

Stahl/Edelstahl Input in t

Teilmodell	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Warenhäuser																								
S1: Trendszenario	345	365	361	367	363	342	318	302	264	242	220	201	185	173	165	163	165	171	181	200	221	241	260	277
S2: Innenstadtstärkung	345	387	406	412	409	389	377	344	295	256	235	215	199	186	179	176	178	185	195	201	222	242	261	278
S3: Druck	345	341	342	349	345	326	303	285	264	242	220	201	185	173	165	139	138	158	179	200	221	240	187	181
Einkaufszentren																								
S1: Sättigung	375	774	906	564	646	860	918	973	1.032	810	853	886	907	918	925	929	931	928	918	903	885	865	841	813
S2: Innenstadtstärkung	361	761	892	559	641	585	643	698	756	805	840	873	894	905	911	916	917	914	904	888	870	849	823	791
S3: Überversorgung	385	785	916	942	991	1.113	1.171	1.225	1.284	1.333	810	843	864	871	877	881	883	880	871	857	842	875	858	837
Bahnstationen	1.045	1.069	1.088	1.101	1.109	1.110	1.106	1.097	1.084	1.067	1.046	1.022	999	981	962	954	947	939	930	920	910	900	890	878
Flughäfen	45	55	66	77	87	96	102	106	215	107	104	100	94	167	77	407	61	56	53	53	53	54	54	54
Messen	98	177	97	94	74	69	64	60	58	49	48	50	52	53	55	57	59	61	64	67	69	68	69	66
C&A	167	167	176	180	180	169	154	143	130	130	140	138	128	121	120	125	102	110	123	137	150	162	174	176
untersuchte Verkehrsfahrtreppen (gleichbleibend für alle Szenariokombinationen)																								
Stück Fahrtreppen	159	165	170	174	176	178	178	177	193	172	169	164	160	168	150	201	142	138	135	133	131	129	128	126
Input in t	1.089	1.124	1.154	1.179	1.196	1.206	1.208	1.203	1.299	1.174	1.150	1.122	1.093	1.149	1.040	1.362	1.008	995	984	973	963	954	944	932
Input je Stück	6,87	6,82	6,80	6,79	6,78	6,78	6,78	6,79	6,74	6,82	6,82	6,83	6,84	6,82	6,95	6,77	7,12	7,20	7,27	7,33	7,36	7,38	7,39	7,37
Szenariokombination 1-1:																								
untersuchte Kaufhausfahrtreppen																								
Stück Fahrtreppen	170	262	292	218	234	274	279	285	287	232	238	241	240	240	240	242	238	240	244	249	253	256	257	254
Input in t	886	1.307	1.443	1.111	1.188	1.371	1.390	1.418	1.426	1.182	1.213	1.225	1.220	1.212	1.210	1.216	1.198	1.209	1.222	1.239	1.255	1.268	1.275	1.265
Input je Stück	5,21	5,00	4,94	5,11	5,08	5,00	4,99	4,97	4,97	5,10	5,09	5,09	5,08	5,05	5,03	5,02	5,04	5,03	5,01	4,98	4,96	4,96	4,96	4,98
Stück MIN	479	473	473	500	501	500	518	516	505	493	478	462	460	468	463	459	453	452	439	440	442	442	443	443
Input in t MIN	2.574	2.451	2.428	2.636	2.630	2.588	2.679	2.658	2.598	2.596	2.519	2.433	2.415	2.450	2.420	2.385	2.378	2.371	2.299	2.297	2.299	2.300	2.305	2.311
Gesamtinput MIN	4.649	5.059	5.121	5.020	5.089	5.234	5.341	5.339	5.381	5.000	4.930	4.831	4.780	4.864	4.724	5.019	4.642	4.637	4.569	4.577	4.587	4.589	4.592	4.574
Stück MAX	630	623	623	657	660	658	682	679	664	648	629	608	605	616	610	604	596	594	577	579	581	582	583	582
Input in t MAX	3.387	3.226	3.194	3.469	3.461	3.405	3.525	3.497	3.419	3.415	3.314	3.201	3.177	3.224	3.184	3.138	3.129	3.120	3.025	3.023	3.025	3.027	3.033	3.040
Gesamtinput MAX	5.462	5.833	5.888	5.853	5.919	6.051	6.187	6.179	6.202	5.820	5.725	5.599	5.543	5.638	5.488	5.772	5.393	5.386	5.295	5.303	5.313	5.316	5.320	5.304
Szenariokombination 2-2:																								
untersuchte Kaufhausfahrtreppen																								
Stück Fahrtreppen	167	264	299	227	244	224	231	234	233	234	239	241	241	240	241	243	238	240	244	246	250	253	254	251
Input in t	873	1.315	1.474	1.152	1.230	1.143	1.174	1.185	1.182	1.191	1.214	1.226	1.220	1.212	1.210	1.217	1.198	1.209	1.223	1.226	1.241	1.253	1.258	1.245
Input je Stück	5,22	4,99	4,92	5,07	5,04	5,10	5,08	5,07	5,08	5,09	5,09	5,09	5,07	5,05	5,03	5,02	5,04	5,03	5,01	4,99	4,97	4,96	4,96	4,96
Stück MIN	482	478	479	495	485	471	475	471	471	471	470	467	463	460	469	464	459	453	451	438	438	439	439	439
Input in t MIN	2.593	2.471	2.449	2.594	2.532	2.482	2.494	2.468	2.471	2.471	2.457	2.435	2.415	2.450	2.420	2.384	2.378	2.368	2.291	2.289	2.287	2.283	2.285	2.285
Gesamtinput MIN	4.654	5.087	5.174	5.019	5.032	4.900	4.940	4.916	5.009	4.885	4.869	4.834	4.780	4.864	4.724	5.019	4.642	4.634	4.562	4.555	4.561	4.557	4.555	4.528
Stück MAX	634	629	630	651	639	620	625	620	620	618	614	609	605	617	610	604	597	594	576	577	578	578	578	578
Input in t MAX	3.412	3.251	3.222	3.414	3.332	3.266	3.282	3.247	3.251	3.251	3.233	3.205	3.178	3.224	3.184	3.138	3.129	3.115	3.014	3.012	3.009	3.004	3.006	3.006
Gesamtinput MAX	5.473	5.867	5.947	5.838	5.832	5.684	5.728	5.695	5.789	5.665	5.645	5.603	5.543	5.638	5.488	5.773	5.393	5.381	5.285	5.279	5.283	5.278	5.277	5.250
Szenariokombination 3-3:																								
untersuchte Kaufhausfahrtreppen																								
Stück Fahrtreppen	173	258	290	298	307	327	332	338	343	349	349	329	331	329	330	326	321	327	333	338	342	355	340	332
Input in t	897	1.293	1.435	1.471	1.516	1.607	1.628	1.653	1.679	1.705	1.710	1.710	1.717	1.716	1.716	1.714	1.713	1.714	1.713	1.713	1.712	1.717	1.719	1.714
Input je Stück	5,20	5,01	4,95	4,94	4,94	4,92	4,91	4,90	4,89	4,89	4,89	5,12	5,11	5,10	5,08	5,06	5,09	5,07	5,04	5,01	5,00	5,00	5,08	5,15
Stück MIN	478	495	507	544	559	570	583	590	565	539	511	480	448	456	449	444	438	436	425	430	431	429	429	428
Input in t MIN	2.564	2.568	2.603	2.791	2.861	2.906	2.969	3.000	2.866	2.738	2.700	2.608	2.480	2.535	2.395	2.352	2.316	2.305	2.236	2.255	2.257	2.245	2.278	2.299
Gesamtinput MIN	4.649	5.162	5.288	5.535	5.647	5.788	5.869	5.916	5.902	5.666	5.609	4.890	4.688	4.761	4.612	4.886	4.507	4.511	4.457	4.489	4.502	4.542	4.509	4.492
Stück MAX	629	651	667	716	735	750	767	776	743	709	672	631	590	600	591	584	576	574	559	566	567	564	564	563
Input in t MAX	3.373	3.379	3.425	3.672	3.765	3.824	3.907	3.947	3.772	3.603	3.553	3.335	3.113	3.151	3.099	3.057	3.048	3.033	2.942	2.967	2.970	2.953	2.998	3.026
Gesamtinput MAX	5.458	5.973	6.110	6.416	6.551	6.706	6.807	6.864	6.807	6.531	5.922	5.690	5.436	5.517	5.355	5.620	5.238	5.239	5.163	5.201	5.215	5.229	5.218	5.218

Stahl/Edelstahl Output in t

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	
Teilmodell																									
Warenhäuser																									
S1: Trendszenario	469	603	473	481	488	509	491	454	427	398	369	344	321	304	291	285	284	288	296	312	331	351	369	341	
S2: Innenstadterstärkung	469	588	446	454	462	485	466	418	391	363	334	308	285	268	256	249	248	252	261	261	282	302	296	291	
S3: Druck	469	603	474	483	491	513	498	454	427	398	369	344	321	304	291	348	437	446	468	490	528	572	514	449	
Einkaufszentren																									
S1: Sättigung	487	529	578	633	692	752	809	862	913	961	1.003	1.036	1.056	1.067	923	927	929	926	916	901	883	863	840	812	
S2: Innenstadterstärkung	521	563	612	667	726	786	843	896	947	995	1.037	1.070	1.090	1.101	957	961	963	960	950	934	916	895	870	838	
S3: Überversorgung	487	529	578	633	692	752	809	862	913	961	1.003	1.036	1.056	1.067	923	927	929	926	916	901	883	863	840	812	
Bahnstationen	1.174	1.193	1.205	1.211	1.210	1.203	1.181	1.164	1.142	1.109	1.081	1.051	1.018	999	983	972	962	952	941	930	919	909	898	886	
Flughäfen	45	55	66	77	87	96	102	106	108	138	104	100	94	86	77	68	61	56	53	53	53	54	54	54	
Messen	136	147	143	111	103	94	87	81	64	62	66	69	70	72	73	75	77	80	82	85	83	86	84	80	
C&A	292	380	390	395	394	405	411	397	381	330	252	210	196	186	170	150	109	117	131	144	158	170	181	182	
untersuchte Verkehrsfahrtreppen (gleichbleibend für alle Szenariokombinationen)																									
Stück Fahrtreppen	161	167	172	176	178	180	179	178	176	177	169	164	160	155	151	146	143	139	136	134	132	130	129	127	
Output in t	1.219	1.248	1.271	1.288	1.298	1.299	1.284	1.270	1.250	1.247	1.185	1.151	1.112	1.086	1.060	1.040	1.023	1.008	995	983	972	962	952	940	
Output je Stück	7,59	7,49	7,41	7,34	7,28	7,22	7,16	7,12	7,09	7,03	7,03	7,00	6,96	7,00	7,04	7,10	7,17	7,24	7,30	7,35	7,38	7,39	7,39	7,37	
Szenariokombination 1-1:																									
untersuchte Kaufhausfahrtreppen																									
Stück Fahrtreppen	225	282	264	278	293	314	326	329	333	328	314	308	308	307	271	267	260	263	267	271	276	278	279	267	
Output in t	1.248	1.511	1.441	1.509	1.575	1.666	1.711	1.714	1.721	1.689	1.625	1.589	1.574	1.557	1.385	1.363	1.322	1.331	1.343	1.358	1.371	1.384	1.390	1.384	
Output je Stück	5,53	5,37	5,46	5,42	5,38	5,30	5,24	5,21	5,17	5,16	5,17	5,16	5,12	5,07	5,11	5,10	5,08	5,06	5,04	5,00	4,98	4,97	4,97	5,00	
Stück MIN	496	504	512	535	546	560	571	577	574	566	557	547	529	515	500	486	473	470	469	471	472	470	470	469	
Output in t MIN	2.849	2.810	2.893	3.000	3.036	3.074	3.102	3.116	3.075	3.025	2.983	2.922	2.804	2.707	2.652	2.573	2.503	2.483	2.469	2.464	2.462	2.451	2.451	2.456	
Gesamtoutput MIN	5.451	5.716	5.748	5.908	6.012	6.133	6.184	6.180	6.111	6.023	5.859	5.730	5.560	5.421	5.170	5.051	4.925	4.902	4.889	4.890	4.889	4.883	4.877	4.810	
Stück MAX	653	663	673	703	718	737	751	760	755	745	733	720	696	677	658	639	623	619	617	619	621	619	619	617	
Output in t MAX	3.749	3.698	3.807	3.947	3.995	4.045	4.082	4.100	4.046	3.980	3.925	3.844	3.690	3.562	3.489	3.386	3.293	3.267	3.249	3.242	3.240	3.225	3.225	3.231	
Gesamtoutput MAX	6.351	6.603	6.662	6.856	6.971	7.104	7.164	7.164	7.082	6.979	6.801	6.653	6.446	6.276	6.008	5.864	5.716	5.686	5.669	5.668	5.666	5.657	5.651	5.586	
Szenariokombination 2-2:																									
untersuchte Kaufhausfahrtreppen																									
Stück Fahrtreppen	233	286	265	280	295	316	328	329	333	327	314	308	307	307	270	267	260	262	266	268	272	275	271	263	
Output in t	1.282	1.531	1.448	1.516	1.583	1.676	1.720	1.712	1.719	1.688	1.624	1.587	1.572	1.555	1.383	1.361	1.321	1.330	1.341	1.339	1.355	1.367	1.347	1.311	
Output je Stück	5,50	5,35	5,46	5,42	5,37	5,30	5,24	5,21	5,17	5,16	5,17	5,16	5,12	5,07	5,12	5,10	5,08	5,07	5,04	5,00	4,99	4,98	4,97	4,99	
Stück MIN	501	508	515	537	547	561	572	578	574	565	556	546	529	514	499	485	473	469	467	468	467	465	464	463	
Output in t MIN	2.862	2.828	2.913	3.013	3.046	3.081	3.107	3.120	3.077	3.024	2.982	2.921	2.803	2.706	2.651	2.572	2.502	2.477	2.460	2.451	2.443	2.426	2.422	2.419	
Gesamtoutput MIN	5.498	5.753	5.775	5.928	6.029	6.150	6.198	6.183	6.111	6.021	5.857	5.727	5.557	5.418	5.167	5.048	4.922	4.895	4.878	4.858	4.853	4.841	4.804	4.750	
Stück MAX	660	668	678	707	720	738	752	760	755	744	732	719	696	676	657	638	622	617	614	615	615	612	611	609	
Output in t MAX	3.765	3.721	3.834	3.964	4.007	4.054	4.089	4.106	4.049	3.979	3.923	3.843	3.689	3.560	3.488	3.384	3.292	3.260	3.237	3.225	3.214	3.192	3.186	3.183	
Gesamtoutput MAX	6.401	6.646	6.695	6.880	6.991	7.122	7.179	7.169	7.083	6.976	6.799	6.649	6.443	6.273	6.004	5.860	5.712	5.677	5.655	5.632	5.625	5.607	5.569	5.514	
Szenariokombination 3-3:																									
untersuchte Kaufhausfahrtreppen																									
Stück Fahrtreppen	225	282	264	279	293	315	328	329	332	322	316	303	297	296	322	392	403	427	433	293	310	320	328	315	294
Output in t	1.248	1.511	1.442	1.510	1.577	1.670	1.718	1.714	1.670	1.638	1.574	1.538	1.523	1.621	1.924	1.965	2.066	2.080	1.458	1.531	1.567	1.609	1.546	1.460	
Output je Stück	5,53	5,37	5,46	5,42	5,38	5,30	5,24	5,21	5,19	5,18	5,20	5,18	5,14	5,04	4,91	4,88	4,84	4,81	4,97	4,93	4,90	4,91	4,91	4,96	
Stück MIN	497	504	512	535	546	560	569	573	567	556	544	540	552	570	595	622	612	590	569	544	516	514	514	511	
Output in t MIN	2.849	2.811	2.895	3.002	3.040	3.077	3.091	3.091	3.048	2.983	2.928	2.897	2.937	2.985	3.048	3.169	3.104	2.981	2.959	2.816	2.654	2.650	2.649	2.658	
Gesamtoutput MIN	5.451	5.717	5.750	5.912	6.018	6.140	6.179	6.156	6.033	5.930	5.752	5.654	5.642	5.763	6.106	6.249	6.149	6.149	5.494	5.415	5.276	5.307	5.230	5.139	
Stück MAX	653	663	674	704	719	737	749	753	745	731	716	711	726	750	783	818	805	777	748	716	678	676	676	672	
Output in t MAX	3.749	3.699	3.809	3.950	4.000	4.049	4.067	4.067	4.011	3.925	3.852	3.812	3.864	3.927	4.011	4.171	4.084	3.923	3.893	3.705	3.492	3.487	3.485	3.498	
Gesamtoutput MAX	6.351	6.604	6.665	6.860	6.978	7.112	7.155	7.132	6.996	6.872	6.677	6.569	6.569	6.706	7.069	7.250	7.250	7.091	6.429	6.304	6.114	6.144	6.066	5.979	

Stahl/Edelstahl Lager in t

		2.017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Teilmodell																									
Warenhäuser																									
S1: Trendszenario	14.034	13.796	13.684	13.571	13.445	13.279	13.105	12.953	12.790	12.634	12.485	12.343	12.206	12.076	11.949	11.827	11.708	11.591	11.476	11.364	11.254	11.145	11.036	10.972	
S2: Innenstadstärkung	14.034	13.832	13.792	13.750	13.696	13.601	13.511	13.437	13.341	13.234	13.135	13.042	12.955	12.874	12.797	12.724	12.654	12.587	12.522	12.462	12.401	12.341	12.306	12.293	
S3: Druck	14.034	13.772	13.640	13.506	13.360	13.173	12.978	12.809	12.647	12.491	12.341	12.199	12.063	11.932	11.806	11.597	11.298	11.010	10.721	10.432	10.125	9.793	9.466	9.198	
Einkaufszentren																									
S1: Sättigung	19.079	19.324	19.652	19.583	19.537	19.645	19.755	19.865	19.984	19.833	19.682	19.533	19.384	19.235	19.236	19.238	19.240	19.242	19.243	19.245	19.247	19.248	19.249	19.250	
S2: Innenstadstärkung	19.032	19.229	19.510	19.402	19.317	19.116	18.917	18.718	18.528	18.338	18.140	17.943	17.747	17.550	17.504	17.459	17.413	17.367	17.322	17.276	17.230	17.184	17.138	17.091	
S3: Übertversorgung	19.090	19.346	19.684	19.994	20.293	20.654	21.015	21.378	21.800	22.223	22.081	21.940	21.799	21.538	20.952	20.367	19.730	19.093	19.104	19.064	19.024	19.032	19.039	19.046	
Bahnstationen	26.062	25.938	25.820	25.710	25.609	25.516	25.441	25.374	25.316	25.274	25.239	25.210	25.191	25.173	25.153	25.135	25.121	25.108	25.097	25.087	25.078	25.070	25.062	25.054	
Flughäfen	2.251	2.251	2.251	2.251	2.251	2.251	2.251	2.251	2.358	2.328	2.328	2.328	2.328	2.409	2.409	2.409	2.748	2.748	2.748	2.748	2.748	2.748	2.748	2.748	
Messen	2.615	2.645	2.600	2.583	2.554	2.528	2.505	2.484	2.477	2.464	2.446	2.428	2.409	2.391	2.372	2.354	2.335	2.317	2.299	2.282	2.268	2.250	2.235	2.220	
C&A	14.033	13.821	13.607	13.392	13.177	12.941	12.684	12.430	12.180	11.979	11.867	11.795	11.727	11.662	11.611	11.586	11.578	11.572	11.564	11.556	11.548	11.540	11.533	11.527	
Szenariokombination 1-1:																									
unbekannt MIN	82.815	82.158	81.531	80.643	79.721	78.822	77.979	77.137	76.408	75.384	74.455	73.556	72.776	72.218	71.772	71.741	71.458	71.193	70.873	70.560	70.259	69.961	69.681	69.445	
Gesamtlager MIN	160.888	159.934	159.146	157.734	156.294	154.982	153.720	152.495	151.513	149.895	148.501	147.192	146.021	145.163	144.503	144.628	144.187	143.770	143.300	142.842	142.402	141.966	141.543	141.216	
unbekannt MAX	109.138	108.368	107.594	106.591	105.539	104.487	103.510	102.525	101.644	100.485	99.409	98.356	97.453	96.814	96.295	96.203	95.881	95.581	95.207	94.842	94.489	94.148	93.817	93.535	
Gesamtlager MAX	187.211	186.143	185.208	183.681	182.113	180.648	179.251	177.882	176.749	174.996	173.456	171.992	170.698	169.759	169.025	169.091	168.611	168.158	167.634	167.124	166.632	166.148	165.679	165.306	
Szenariokombination 2-2:																									
unbekannt MIN	82.774	82.108	81.507	80.597	79.600	78.351	77.093	75.826	74.724	73.588	72.600	71.707	70.930	70.376	69.933	69.905	69.625	69.364	69.047	68.745	68.453	68.169	67.920	67.698	
Gesamtlager MIN	160.800	159.824	159.086	157.686	156.205	154.305	152.403	150.520	148.923	147.204	145.754	144.452	143.287	142.434	141.780	141.910	141.475	141.063	140.599	140.155	139.726	139.302	138.941	138.631	
unbekannt MAX	109.099	108.320	107.572	106.531	105.371	103.932	102.481	101.008	99.715	98.404	97.250	96.204	95.304	94.670	94.154	94.066	93.747	93.452	93.082	92.728	92.387	92.058	91.766	91.501	
Gesamtlager MAX	187.124	186.036	185.151	183.619	181.976	179.887	177.791	175.703	173.914	172.020	170.404	168.949	167.661	166.728	166.000	166.072	165.597	165.150	164.633	164.139	163.661	163.191	162.787	162.434	
Szenariokombination 3-3:																									
unbekannt MIN	82.815	82.260	81.798	81.421	81.051	80.698	80.388	80.149	80.018	79.753	79.069	78.305	77.352	76.349	74.855	73.491	71.728	70.090	69.053	68.127	67.353	66.588	65.868	65.220	
Gesamtlager MIN	160.899	160.032	159.400	158.857	158.295	157.762	157.263	156.876	156.795	156.511	155.370	154.204	152.868	151.453	149.158	147.277	144.539	141.938	140.587	139.296	138.145	137.020	135.949	135.013	
unbekannt MAX	109.134	108.503	107.948	107.504	107.077	106.671	106.323	106.055	105.866	105.524	104.768	103.889	102.756	101.567	99.854	98.223	96.212	94.360	93.094	91.991	91.092	90.199	89.362	88.601	
Gesamtlager MAX	187.218	186.275	185.550	184.941	184.322	183.735	183.198	182.782	182.644	182.282	181.070	179.789	178.273	176.672	174.157	172.009	169.022	166.208	164.628	163.160	161.884	160.631	159.443	158.394	

Aluminium Input in t

Teilmodell	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Warenhäuser																								
S1: Trendszenario	51	54	54	55	54	51	47	44	38	35	31	28	25	23	22	22	22	23	24	27	31	34	37	39
S2: Innenstadtsärfkung	51	58	61	62	61	58	56	51	43	37	33	30	28	26	24	24	24	25	27	27	31	34	37	40
S3: Druck	51	50	51	52	51	48	44	41	38	35	31	28	25	23	22	18	18	21	24	27	31	34	37	24
Einkaufszentren																								
S1: Sättigung	49	118	140	81	95	132	142	152	162	124	131	136	141	144	146	147	147	147	146	144	141	138	133	128
S2: Innenstadtsärfkung	46	115	138	81	94	85	95	105	115	123	128	134	138	141	144	145	145	145	144	142	139	135	131	125
S3: Überversorgung	50	119	142	147	155	175	186	195	206	214	123	129	133	136	139	139	139	139	138	136	133	138	133	128
Bahnstationen	178	183	186	189	190	190	189	187	184	181	178	174	170	167	162	159	156	153	151	149	147	145	143	141
Flughäfen	7	9	11	14	16	17	18	19	39	19	18	17	16	29	12	73	10	8	8	7	7	7	7	7
Messen	16	30	15	15	11	11	10	10	9	7	7	8	8	9	9	10	10	10	11	11	11	11	11	11
C&A	20	19	20	21	20	19	17	16	14	14	15	15	14	13	13	13	10	11	13	14	16	18	19	20
untersuchte Verkehrsfahrtreppen (gleichbleibend für alle Szenariokombinationen)																								
Stück Fahrtreppen	159	165	170	174	176	178	178	177	193	172	169	164	160	168	150	201	142	138	135	133	131	129	128	126
Input in t	185	192	198	202	205	207	206	224	200	196	191	186	196	174	232	165	162	162	158	156	153	152	150	148
Input je Stück	1,17	1,17	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,17	1,15	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
Szenariokombination 1-1:																								
untersuchte Kaufhausfahrtreppen																								
Stück Fahrtreppen	170	262	292	218	234	274	279	285	287	232	238	241	240	240	240	242	238	240	244	249	253	256	257	254
Input in t	120	191	214	157	170	202	206	212	214	172	177	180	180	180	181	182	179	181	183	186	188	189	189	187
Input je Stück	0,71	0,73	0,73	0,72	0,72	0,73	0,74	0,75	0,75	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74	0,74
Stück MIN	479	473	473	500	501	500	518	516	505	493	478	462	460	468	463	459	453	452	439	440	442	442	443	443
Input in t MIN	361	366	368	382	385	389	405	405	398	387	376	364	363	371	367	363	361	359	348	347	347	346	346	345
Gesamtinput MIN	682	779	794	755	771	808	828	832	845	767	756	742	737	755	731	787	715	712	700	700	700	698	696	691
Stück MAX	630	623	623	657	660	658	682	679	664	648	629	608	605	616	610	604	596	594	577	579	581	582	583	582
Input in t MAX	474	482	484	502	507	511	533	532	523	509	494	479	478	488	483	478	474	472	457	457	457	456	455	454
Gesamtinput MAX	796	894	911	876	893	931	956	960	970	889	875	857	852	872	847	901	829	825	810	810	805	808	805	800
Szenariokombination 2-2:																								
untersuchte Kaufhausfahrtreppen																								
Stück Fahrtreppen	167	264	299	227	244	224	231	234	233	234	239	241	241	240	241	243	238	240	244	246	250	253	254	251
Input in t	118	192	219	163	176	162	168	171	172	174	177	179	180	180	180	182	179	181	183	183	186	187	187	184
Input je Stück	0,71	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74	0,73
Stück MIN	482	478	479	495	485	471	475	471	471	470	467	463	460	469	464	459	453	451	438	438	439	439	439	439
Input in t MIN	362	369	371	377	372	361	366	365	368	368	366	364	363	370	367	363	360	358	346	346	345	344	343	342
Gesamtinput MIN	681	783	803	757	765	740	752	752	772	750	747	742	737	755	731	786	715	711	698	696	696	693	691	686
Stück MAX	634	629	630	651	639	620	625	620	620	618	614	609	605	617	610	604	597	594	576	577	578	578	578	578
Input in t MAX	476	486	488	496	490	475	482	481	484	485	482	479	477	487	487	477	474	471	456	455	454	452	451	450
Gesamtinput MAX	795	899	920	876	882	854	867	867	889	866	862	857	851	872	847	901	829	824	808	805	802	799	794	794
Szenariokombination 3-3:																								
untersuchte Kaufhausfahrtreppen																								
Stück Fahrtreppen	173	258	290	298	307	327	332	338	343	349	229	231	231	229	230	226	221	227	233	238	242	255	240	232
Input in t	122	189	213	219	226	242	247	252	258	262	170	172	172	172	172	170	167	171	174	177	180	189	178	172
Input je Stück	0,71	0,73	0,73	0,73	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,76	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74	0,74
Stück MIN	478	495	507	544	559	570	583	590	565	539	511	480	448	456	449	444	438	436	425	430	431	429	429	428
Input in t MIN	360	383	394	423	435	446	458	465	447	427	401	377	335	351	339	331	349	347	336	338	336	336	336	335
Gesamtinput MIN	683	794	820	859	878	906	923	934	937	897	774	748	720	736	711	763	691	689	680	683	683	688	675	667
Stück MAX	629	651	667	716	735	750	767	776	743	709	672	631	590	600	591	584	576	574	559	566	567	564	564	563
Input in t MAX	474	504	518	557	573	587	603	612	588	562	527	496	466	474	468	462	459	456	442	446	445	442	442	441
Gesamtinput MAX	797	915	944	992	1.015	1.047	1.067	1.081	1.079	1.032	900	867	832	850	824	874	801	799	786	790	790	794	781	773

Aluminium Output in t

Teilmodell	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Warenhäuser																								
S1: Trendzenario	13	28	7	7	8	13	13	11	11	12	12	13	14	15	17	19	21	23	26	30	35	38	41	39
S2: Innenstadterstärkung	13	26	3	3	4	9	9	6	6	7	7	8	9	10	12	13	15	18	20	25	28	31	31	32
S3: Druck	13	28	7	7	9	13	14	11	11	12	12	13	14	15	17	28	39	50	53	56	62	68	75	67
Einkaufszentren																								
S1: Sättigung	60	68	76	85	95	105	115	125	134	143	149	155	159	163	141	142	143	142	141	140	137	134	129	124
S2: Innenstadterstärkung	66	73	81	91	101	111	121	131	140	148	155	161	165	168	147	148	148	148	147	145	143	139	135	129
S3: Überversorgung	60	68	76	85	95	105	115	125	126	134	141	147	151	173	230	231	240	240	132	139	136	133	128	123
Bahnstationen	111	119	126	133	139	145	149	152	155	156	157	157	157	156	155	154	152	151	149	147	146	145	143	142
Flughäfen	7	9	11	14	16	17	18	19	19	25	18	17	16	14	12	11	10	8	8	7	7	7	7	7
Messen	1	2	2	3	4	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	11	12	13	13	14	14	14	14	14
C&A	8	16	16	16	16	18	21	21	21	17	9	6	7	7	7	6	6	7	9	10	12	14	15	17
untersuchte Verkehrsfahrtreppen (gleichbleibend für alle Szenariokombinationen)																								
Stück Fahrtreppen	161	167	172	176	178	180	179	178	176	177	169	164	160	155	151	146	143	139	136	134	132	130	129	127
Output in t	118	128	138	147	155	162	167	171	174	181	175	174	172	170	167	164	162	159	157	155	153	151	150	149
Output je Stück	0,73	0,77	0,80	0,84	0,87	0,90	0,93	0,96	0,99	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,16	1,16	1,16	1,17
Szenariokombination 1-1:																								
untersuchte Kaufhausfahrtreppen																								
Stück Fahrtreppen	225	282	264	278	293	314	326	329	333	328	314	308	308	307	271	267	260	263	267	271	276	278	279	267
Output in t	81	112	99	108	120	137	149	157	167	171	171	174	180	185	165	167	169	173	176	180	184	185	186	179
Output je Stück	0,36	0,40	0,38	0,39	0,41	0,43	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,57	0,59	0,60	0,61	0,62	0,65	0,66	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67
Stück MIN	490	497	505	528	538	551	561	568	564	558	550	540	522	508	493	480	467	464	463	464	466	464	464	463
Output in t MIN	195	216	211	229	244	265	284	298	310	319	326	332	332	331	325	323	326	327	328	330	332	332	332	333
Gesamtooutput MIN	395	458	450	486	522	567	604	631	656	677	680	689	693	696	668	665	669	671	673	678	683	682	682	675
Stück MAX	646	655	665	695	708	726	740	748	744	735	724	712	688	669	650	632	616	612	610	612	614	611	611	610
Output in t MAX	257	285	278	302	322	349	374	393	408	420	430	438	437	437	428	426	430	431	432	435	439	437	437	439
Gesamtooutput MAX	457	527	517	559	599	651	695	726	754	778	783	795	799	802	771	768	773	775	777	783	789	787	787	781
Szenariokombination 2-2:																								
untersuchte Kaufhausfahrtreppen																								
Stück Fahrtreppen	233	286	265	280	295	316	328	329	333	327	314	308	307	307	270	267	260	262	266	268	272	275	271	263
Output in t	87	116	101	110	121	138	151	157	167	171	172	175	181	186	165	167	170	173	176	180	182	184	182	178
Output je Stück	0,37	0,40	0,38	0,39	0,41	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,55	0,57	0,59	0,61	0,61	0,63	0,65	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68	
Stück MIN	495	501	509	530	539	552	562	568	564	557	549	539	522	507	493	479	466	463	461	462	461	459	458	457
Output in t MIN	202	221	215	232	247	267	285	300	311	320	327	333	333	332	326	324	327	327	327	332	332	330	330	331
Gesamtooutput MIN	408	466	455	491	526	571	607	633	657	678	681	690	694	697	669	667	671	672	673	681	681	679	675	671
Stück MAX	652	660	670	698	711	727	741	749	744	734	723	711	688	668	649	631	615	610	607	608	608	604	604	602
Output in t MAX	266	291	283	305	325	352	376	395	409	421	431	439	438	438	430	427	431	431	431	439	437	435	435	436
Gesamtooutput MAX	472	536	523	565	604	656	698	728	756	780	785	796	800	803	773	769	775	776	777	787	786	784	780	776
Szenariokombination 3-3:																								
untersuchte Kaufhausfahrtreppen																								
Stück Fahrtreppen	225	282	264	279	293	315	328	329	322	316	303	297	296	322	392	403	427	433	293	310	320	328	315	294
Output in t	81	112	99	108	120	137	150	157	158	163	163	166	172	196	254	265	285	297	194	205	209	215	219	207
Output je Stück	0,36	0,40	0,38	0,39	0,41	0,43	0,46	0,48	0,49	0,51	0,54	0,56	0,58	0,61	0,65	0,66	0,67	0,69	0,66	0,66	0,65	0,65	0,69	0,70
Stück MIN	490	497	505	528	538	551	560	563	557	547	537	533	545	563	587	613	604	583	561	537	509	507	507	504
Output in t MIN	195	216	211	229	244	265	282	296	302	309	315	325	343	370	407	432	437	439	427	398	381	359	358	378
Gesamtooutput MIN	395	458	450	487	522	567	604	629	639	659	660	673	696	746	839	872	889	896	762	754	735	737	758	748
Stück MAX	646	655	666	696	709	727	737	742	734	721	708	702	718	741	774	808	796	768	740	708	670	668	668	664
Output in t MAX	257	285	278	302	322	349	372	390	397	408	415	428	452	488	537	569	568	563	524	502	473	471	495	498
Gesamtooutput MAX	457	527	517	559	600	652	693	723	735	757	760	776	805	863	968	1.009	1.026	1.032	888	875	849	851	878	868

Aluminium Lager in t

Teilmodell	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Warenhäuser																								
S1: Trendszenario	1.422	1.448	1.495	1.542	1.588	1.625	1.658	1.692	1.719	1.742	1.760	1.775	1.787	1.795	1.800	1.803	1.805	1.805	1.804	1.801	1.797	1.793	1.788	1.789
S2: Innenstadtstärkung	1.422	1.453	1.511	1.570	1.627	1.676	1.723	1.768	1.805	1.836	1.862	1.885	1.903	1.919	1.932	1.942	1.951	1.958	1.965	1.967	1.970	1.972	1.978	1.986
S3: Druck	1.422	1.444	1.487	1.532	1.574	1.609	1.639	1.670	1.697	1.720	1.739	1.754	1.765	1.773	1.778	1.769	1.747	1.718	1.689	1.660	1.629	1.595	1.545	1.501
Einkaufszentren																								
S1: Sättigung	3.150	3.200	3.265	3.261	3.261	3.288	3.315	3.341	3.369	3.351	3.332	3.313	3.294	3.275	3.280	3.285	3.289	3.294	3.298	3.303	3.307	3.311	3.315	3.319
S2: Innenstadtstärkung	3.142	3.184	3.241	3.231	3.225	3.198	3.172	3.146	3.121	3.096	3.069	3.043	3.016	2.989	2.986	2.982	2.979	2.976	2.972	2.969	2.965	2.962	2.958	2.954
S3: Überversorgung	3.152	3.204	3.270	3.332	3.391	3.461	3.532	3.602	3.681	3.761	3.743	3.726	3.708	3.670	3.578	3.485	3.384	3.284	3.289	3.286	3.283	3.289	3.294	3.299
Bahnstationen	4.100	4.164	4.224	4.280	4.330	4.375	4.415	4.450	4.480	4.505	4.525	4.542	4.556	4.567	4.574	4.579	4.583	4.586	4.587	4.588	4.589	4.589	4.589	4.589
Flughäfen	414	414	414	414	414	414	414	414	434	428	428	428	428	443	443	506	506	506	506	506	506	506	506	506
Messen	349	377	390	403	411	418	424	426	427	427	428	427	427	427	426	423	421	418	416	413	411	408	405	403
C&A	1.396	1.399	1.404	1.409	1.414	1.415	1.412	1.407	1.400	1.398	1.404	1.414	1.421	1.427	1.433	1.441	1.445	1.449	1.453	1.458	1.463	1.468	1.472	1.476
Szenariokombination 1-1:																								
unbekannt MIN	10.879	11.196	11.537	11.803	12.050	12.287	12.505	12.698	12.878	12.962	13.034	13.084	13.125	13.179	13.239	13.357	13.399	13.436	13.459	13.477	13.491	13.504	13.515	13.528
Gesamtlager MIN	21.710	22.199	22.729	23.112	23.467	23.822	24.144	24.429	24.707	24.812	24.912	24.985	25.038	25.112	25.194	25.393	25.448	25.493	25.523	25.546	25.563	25.578	25.591	25.609
unbekannt MAX	14.297	14.661	15.051	15.364	15.654	15.929	16.184	16.409	16.616	16.719	16.806	16.864	16.913	16.979	17.051	17.180	17.232	17.277	17.306	17.328	17.345	17.362	17.377	17.392
Gesamtlager MAX	25.129	25.664	26.243	26.672	27.072	27.465	27.823	28.140	28.444	28.570	28.684	28.765	28.826	28.912	29.006	29.217	29.280	29.335	29.370	29.397	29.418	29.436	29.452	29.472
Szenariokombination 2-2:																								
unbekannt MIN	10.865	11.178	11.523	11.786	12.023	12.189	12.328	12.440	12.547	12.613	12.675	12.723	12.762	12.816	12.874	12.990	13.031	13.066	13.087	13.099	13.110	13.121	13.134	13.145
Gesamtlager MIN	21.688	22.171	22.708	23.093	23.443	23.686	23.889	24.052	24.215	24.303	24.392	24.462	24.514	24.586	24.666	24.863	24.915	24.959	24.987	25.000	25.014	25.026	25.042	25.057
unbekannt MAX	14.282	14.641	15.034	15.343	15.617	15.812	15.976	16.107	16.231	16.310	16.383	16.440	16.487	16.552	16.622	16.749	16.799	16.842	16.868	16.883	16.897	16.911	16.927	16.940
Gesamtlager MAX	25.105	25.634	26.219	26.649	27.038	27.309	27.537	27.719	27.898	28.000	28.100	28.179	28.239	28.322	28.414	28.622	28.683	28.735	28.768	28.784	28.801	28.816	28.835	28.852
Szenariokombination 3-3:																								
unbekannt MIN	10.880	11.212	11.578	11.947	12.299	12.632	12.945	13.241	13.530	13.762	13.871	13.942	13.963	13.950	13.819	13.707	13.504	13.294	13.209	13.135	13.080	13.027	12.941	12.857
Gesamtlager MIN	21.713	22.215	22.769	23.315	23.833	24.325	24.782	25.211	25.649	26.001	26.139	26.233	26.268	26.256	26.050	25.909	25.591	25.255	25.150	25.047	24.961	24.881	24.752	24.630
unbekannt MAX	14.299	14.683	15.105	15.534	15.945	16.335	16.702	17.049	17.382	17.650	17.784	17.871	17.894	17.877	17.728	17.588	17.359	17.122	17.016	16.927	16.864	16.804	16.704	16.605
Gesamtlager MAX	25.132	25.685	26.296	26.903	27.480	28.028	28.538	29.019	29.502	29.889	30.052	30.162	30.199	30.183	29.959	29.791	29.445	29.082	28.956	28.840	28.746	28.658	28.515	28.378

Kupfer Input in t

Teilmodell																								
Warenhäuser																								
S1: Trendzenario	4,08	4,32	4,26	4,33	4,27	4,00	3,69	3,50	3,01	2,73	2,45	2,21	2,00	1,84	1,74	1,70	1,72	1,79	1,91	2,15	2,41	2,66	2,90	3,12
S2: Innenstadtsiärkung	4,08	4,60	4,83	4,92	4,87	4,62	4,46	4,04	3,41	2,92	2,64	2,39	2,18	2,02	1,92	1,88	1,90	1,97	2,09	2,15	2,41	2,66	2,90	3,12
S3: Druck	4,08	4,00	4,01	4,09	4,04	3,79	3,51	3,28	3,01	2,73	2,45	2,21	2,00	1,84	1,74	1,39	1,38	1,63	1,88	2,15	2,41	2,65	1,96	1,89
Einkaufszentren																								
S1: Sättigung	3,37	8,30	9,92	5,71	6,70	9,32	10,06	10,76	11,49	8,74	9,23	9,63	9,95	10,17	10,33	10,41	10,44	10,42	10,34	10,21	10,02	9,76	9,44	9,04
S2: Innenstadtsiärkung	3,20	8,13	9,76	5,66	6,64	5,95	6,68	7,38	8,11	8,69	9,07	9,47	9,78	10,01	10,16	10,25	10,28	10,25	10,17	10,04	9,85	9,60	9,27	8,88
S3: Überversorgung	3,50	8,43	10,05	10,36	10,94	12,42	13,15	13,86	14,59	15,16	8,71	9,11	9,42	9,59	9,74	9,83	9,85	9,83	9,75	9,62	9,43	9,76	9,44	9,04
Beinstationen	8,37	8,60	8,77	8,89	8,94	8,94	8,90	8,81	8,69	8,55	8,38	8,21	8,03	7,86	7,63	7,47	7,32	7,19	7,07	6,96	6,87	6,78	6,70	6,63
Flughäfen	0,36	0,45	0,56	0,66	0,76	0,84	0,90	0,94	1,91	0,93	0,89	0,83	0,75	1,41	0,60	3,58	0,46	0,41	0,37	0,34	0,33	0,32	0,32	0,33
Messen	1,00	1,88	0,96	0,93	0,72	0,67	0,63	0,43	0,38	0,41	0,45	0,48	0,51	0,54	0,58	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,71	0,69	0,70	0,70
C&A	1,92	1,77	1,87	1,92	1,91	1,77	1,58	1,44	1,28	1,28	1,42	1,40	1,27	1,17	1,16	1,22	0,91	1,01	1,17	1,33	1,49	1,64	1,79	1,82
Szenariokombination 1-1:																								
5-Jahres-Mittel MIN unbekannt	26,00	25,69	25,69	27,12	27,21	27,11	28,07	27,92	27,32	26,66	25,92	25,08	24,95	25,43	25,15	24,92	24,60	24,52	23,82	23,90	23,98	24,00	24,03	24,02
Input MIN in t	45,09	51,01	52,03	49,56	50,51	52,66	53,83	53,80	54,09	49,30	48,73	47,85	47,46	48,43	47,18	49,91	46,08	45,99	45,36	45,59	45,80	45,86	45,88	45,64
5-Jahres-Mittel MAX unbekannt	34,27	33,85	33,85	35,73	35,86	35,73	36,99	36,80	36,00	35,13	34,15	33,06	32,88	33,51	33,14	32,84	32,41	32,31	31,39	31,50	31,61	31,63	31,66	31,65
Input MAX in t	53,35	59,17	60,20	58,17	59,16	61,28	62,75	62,68	62,77	57,77	56,97	55,82	55,39	56,51	55,17	57,83	53,90	53,79	52,93	53,18	53,43	53,49	53,51	53,27
Szenariokombination 2-2:																								
5-Jahres-Mittel MIN unbekannt	26,14	25,94	26,01	26,86	26,35	25,54	25,72	25,48	25,50	25,41	25,30	25,13	24,97	25,44	25,16	24,93	24,61	24,49	23,76	23,80	23,84	23,82	23,85	23,83
Input MIN in t	44,92	51,13	52,44	50,08	51,05	49,90	51,22	50,97	51,11	49,43	48,76	47,86	47,48	48,44	47,19	49,92	46,10	46,01	45,37	45,42	45,64	45,70	45,71	45,48
5-Jahres-Mittel MAX unbekannt	34,45	34,18	34,27	35,39	34,73	33,65	33,89	33,58	33,60	33,49	33,34	33,11	32,90	33,53	33,16	32,85	32,43	32,28	31,31	31,36	31,42	31,39	31,42	31,41
Input MAX in t	53,53	59,50	60,61	57,83	58,02	59,20	59,65	59,46	60,37	56,13	56,16	55,87	55,42	56,53	55,19	57,85	53,92	53,75	52,84	53,05	53,24	53,25	53,27	53,03
Szenariokombination 3-3:																								
5-Jahres-Mittel MIN unbekannt	25,94	26,86	27,51	29,54	30,33	30,88	31,55	31,94	30,58	29,16	27,67	26,02	24,34	24,74	24,37	24,09	23,76	23,69	23,05	23,34	23,38	23,26	23,26	23,21
Input MIN in t	45,22	50,82	51,92	53,97	54,52	55,55	56,74	56,68	57,19	55,72	48,21	47,32	46,94	47,84	46,59	49,01	45,16	45,24	44,74	45,00	45,21	45,85	44,93	44,41
5-Jahres-Mittel MAX unbekannt	34,19	35,39	36,25	38,93	39,96	40,70	41,58	42,09	40,30	38,43	36,46	34,29	32,08	32,60	32,11	31,74	31,31	31,21	30,38	30,75	30,81	30,66	30,66	30,59
Input MAX in t	53,27	60,71	62,59	61,37	63,26	66,25	67,34	67,97	67,07	61,07	59,28	57,06	54,59	55,60	54,14	56,74	52,80	52,69	51,92	52,44	52,63	52,52	52,50	52,22

Kupfer Output in t

Teilmodell		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Warenhäuser																									
S1: Trendszenario		4,66	6,28	4,59	4,67	4,76	5,05	4,88	4,46	4,20	3,92	3,64	3,40	3,19	3,03	2,93	2,89	2,91	2,98	3,10	3,33	3,60	3,85	4,09	3,77
S2: Innenstadterstärkung		4,66	6,10	4,24	4,33	4,43	4,74	4,55	4,01	3,75	3,47	3,20	2,95	2,74	2,58	2,47	2,43	2,45	2,52	2,64	2,70	2,96	3,22	3,19	3,12
S3: Druck		4,66	6,28	4,60	4,68	4,79	5,10	4,96	4,46	4,20	3,92	3,64	3,40	3,19	3,03	2,93	3,68	4,78	5,02	5,28	5,54	6,10	6,64	6,11	5,35
Einkaufszentren																									
S1: Sättigung		4,74	5,28	5,89	6,57	7,28	8,02	8,75	9,46	10,10	10,68	11,17	11,57	11,88	12,11	10,39	10,48	10,50	10,48	10,40	10,27	10,08	9,82	9,50	9,10
S2: Innenstadterstärkung		5,16	5,70	6,31	6,99	7,70	8,44	9,17	9,88	10,52	11,10	11,59	11,99	12,30	12,53	10,81	10,90	10,92	10,90	10,82	10,69	10,50	10,24	9,92	9,52
S3: Übersversorgung		4,74	5,28	5,89	6,57	7,28	8,02	8,75	9,46	9,47	10,05	10,54	10,94	11,25	12,90	17,04	17,13	17,79	17,76	9,69	10,19	10,00	9,75	9,42	9,03
Bahnhöfen		8,48	8,71	8,88	9,00	9,05	9,05	8,95	8,87	8,75	8,55	8,38	8,21	8,03	7,86	7,69	7,53	7,38	7,24	7,12	7,02	6,92	6,84	6,76	6,68
Flughäfen		0,36	0,45	0,56	0,66	0,76	0,84	0,90	0,94	0,95	1,20	0,89	0,83	0,75	0,68	0,60	0,53	0,46	0,41	0,37	0,34	0,33	0,32	0,32	0,33
Messen		1,11	1,20	1,16	0,89	0,84	0,79	0,54	0,47	0,52	0,56	0,60	0,64	0,68	0,72	0,76	0,79	0,83	0,85	0,87	0,89	0,86	0,87	0,87	0,86
C&A		3,00	3,92	4,03	4,07	4,07	4,22	4,32	4,18	4,02	3,42	2,48	1,98	1,85	1,76	1,58	1,35	0,91	1,01	1,17	1,33	1,49	1,64	1,79	1,82
Szenariokombination 1-1:																									
5-Jahres-Mittel MIN unbekannt		26,95	27,34	27,77	29,02	29,57	30,29	30,88	31,22	31,04	30,66	30,23	29,70	28,73	27,93	27,13	26,38	25,69	25,52	25,46	25,54	25,62	25,51	25,50	25,45
Output MIN in t		49,29	53,19	52,89	54,88	56,33	58,26	59,23	59,61	59,58	58,99	57,38	56,33	55,12	54,08	51,07	49,93	48,67	48,49	48,49	48,72	48,89	48,86	48,83	48,01
5-Jahres-Mittel MAX unbekannt		35,51	36,03	36,60	38,24	38,96	39,91	40,69	41,15	40,91	40,41	39,83	39,14	37,86	36,81	35,75	34,76	33,85	33,63	33,55	33,66	33,76	33,62	33,61	33,54
Output MAX in t		57,86	61,88	61,72	64,10	65,72	67,88	69,04	69,53	69,45	68,74	66,99	65,77	64,25	62,96	59,69	58,31	56,84	56,60	56,58	56,84	57,03	56,97	56,94	56,10
Szenariokombination 2-2:																									
5-Jahres-Mittel MIN unbekannt		27,22	27,57	27,98	29,15	29,67	30,36	30,93	31,25	31,04	30,63	30,19	29,67	28,70	27,90	27,09	26,34	25,65	25,45	25,35	25,39	25,37	25,22	25,19	25,11
Output MIN in t		49,71	53,43	52,96	54,96	56,42	58,37	59,32	59,57	59,55	58,97	57,36	56,29	55,09	54,05	51,03	49,89	48,64	48,46	48,46	48,51	48,68	48,65	48,35	47,78
5-Jahres-Mittel MAX unbekannt		35,87	36,33	36,87	38,41	39,09	40,01	40,76	41,18	40,90	40,37	39,79	39,09	37,81	36,76	35,70	34,71	33,80	33,53	33,40	33,45	33,43	33,23	33,20	33,09
Output MAX in t		58,21	62,18	61,98	64,27	65,85	67,98	69,11	69,56	69,44	68,70	66,95	65,72	64,21	62,91	59,64	58,26	56,79	56,50	56,43	56,63	56,70	56,58	56,52	55,65
Szenariokombination 3-3:																									
5-Jahres-Mittel MIN unbekannt		26,95	27,35	27,79	29,04	29,61	30,33	30,77	30,97	30,64	30,11	29,53	29,32	29,96	30,94	32,30	33,74	33,20	32,04	30,87	29,53	27,98	27,88	27,88	27,72
Output MIN in t		49,30	53,20	52,92	54,92	56,40	58,35	59,20	59,36	58,55	57,81	56,06	55,32	55,72	57,88	62,89	64,74	65,34	64,34	55,38	54,84	53,69	53,95	53,15	51,78
5-Jahres-Mittel MAX unbekannt		35,52	36,04	36,62	38,27	39,02	39,96	40,55	40,82	40,38	39,68	38,92	38,63	39,47	40,78	42,56	44,46	43,75	42,22	40,68	38,91	36,87	36,74	36,73	36,53
Output MAX in t		57,86	61,89	61,74	64,13	65,78	67,93	68,90	69,20	68,92	68,01	66,07	65,26	65,87	66,92	66,50	68,01	66,74	65,19	63,71	62,09	60,15	60,09	60,06	59,09

Kupfer Lager in t

Teilmodell	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Warenhäuser																								
S1: Trendszenario	168	166	165	165	165	164	162	161	160	159	158	157	156	154	153	152	151	150	148	147	146	145	144	143
S2: Innenstadtstärkung	168	168	166	167	167	168	168	168	168	167	167	166	166	165	165	164	163	163	162	162	161	161	160	160
S3: Druck	168	168	166	165	164	164	162	161	160	158	157	156	155	154	153	151	149	146	142	139	135	132	128	124
Einkaufszentren																								
S1: Sättigung	235	238	242	242	241	242	244	245	246	244	242	240	239	237	237	236	236	236	236	236	236	236	236	236
S2: Innenstadtstärkung	235	237	241	239	238	236	233	231	228	226	223	221	218	216	215	215	214	213	213	212	211	211	210	209
S3: Überversorgung	236	239	243	247	250	255	259	263	269	274	272	270	268	265	258	250	242	234	234	234	233	233	233	233
Bahnstationen	222	222	222	222	222	222	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221
Flughäfen	20	20	20	20	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21	22	22	25	25	25	25	25	25	25	25
Messen	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	29	29	29	29	29	29	28	28	28	28	28	27	27	27
C&A	102	101	99	97	94	92	90	87	84	82	80	78	78	77	77	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Szenariokombination 1-1:																								
5-Jahres-Mittel MIN unbekannt	864	863	861	859	856	853	850	847	843	839	835	830	827	824	822	821	820	819	817	815	814	812	811	809
Lager MIN in t	1641	1640	1640	1634	1628	1623	1618	1612	1607	1596	1587	1578	1570	1564	1560	1560	1557	1555	1552	1549	1545	1542	1539	1537
5-Jahres-Mittel MAX unbekannt	1139	1137	1134	1132	1129	1124	1121	1116	1111	1106	1100	1094	1089	1086	1083	1082	1080	1079	1077	1074	1072	1070	1068	1066
Lager MAX in t	1916	1915	1913	1907	1901	1894	1888	1881	1875	1863	1852	1842	1833	1826	1822	1821	1818	1815	1811	1808	1804	1801	1797	1794
Szenariokombination 2-2:																								
5-Jahres-Mittel MIN unbekannt	864	863	861	858	855	850	845	839	834	828	824	819	815	813	811	810	808	808	806	804	803	801	800	799
Lager MIN in t	1641	1641	1639	1633	1627	1618	1608	1596	1587	1575	1565	1556	1549	1543	1539	1539	1536	1534	1531	1528	1525	1522	1519	1517
5-Jahres-Mittel MAX unbekannt	1139	1137	1134	1131	1127	1120	1114	1106	1099	1092	1085	1079	1074	1071	1069	1067	1065	1064	1062	1060	1058	1056	1054	1053
Lager MAX in t	1916	1915	1912	1906	1899	1888	1876	1863	1851	1839	1827	1817	1808	1801	1797	1796	1793	1791	1787	1784	1780	1777	1774	1771
Szenariokombination 3-3:																								
5-Jahres-Mittel MIN unbekannt	858	857	856	856	856	857	858	859	859	859	858	857	853	848	842	834	824	814	806	798	792	788	783	778
Lager MIN in t	1636	1637	1636	1636	1637	1639	1641	1642	1644	1645	1639	1633	1626	1616	1600	1586	1566	1545	1533	1521	1510	1502	1493	1484
5-Jahres-Mittel MAX unbekannt	1139	1138	1138	1139	1140	1140	1141	1143	1143	1141	1139	1134	1127	1119	1108	1096	1083	1072	1062	1054	1048	1042	1036	1030
Lager MAX in t	1917	1918	1917	1919	1921	1923	1924	1926	1927	1927	1927	1919	1911	1899	1887	1867	1848	1825	1789	1776	1766	1756	1746	1735

Literaturverzeichnis

004 GmbH (2013): 25 Jahre Frankfurter Sportarena. Online verfügbar unter <http://www.004gmbh.de/de/25-jahre-frankfurter-sportarena>, zuletzt aktualisiert am 05.11.2013, zuletzt geprüft am 27.05.2017.

Aachener Zeitung (2016): „Lust for Life“-Abschied: Was wird jetzt aus dem Horten-Haus? In: Aachener Zeitung 2016, 15.04.2016. Online verfügbar unter <http://www.aachener-zeitung.de/lokales/aachen/lust-for-life-abschied-was-wird-jetzt-aus-dem-horten-haus-1.1338923>, zuletzt geprüft am 04.05.2017.

Abgeordnetenhaus Berlin (2014a): Rolltreppen auf Bahnhöfen in Berlin. Schriftliche Anfrage der Abgeordneten Katrin Vogel (CDU). Drucksache 17 / 13386, 11.03.2014. Online verfügbar unter http://www.stiftung-naturschutz.de/fileadmin/img/pdf/Kleine_Anfragen/S17-13386.pdf, zuletzt geprüft am 27.01.2017.

Abgeordnetenhaus Berlin (2014b): Verfügbarkeit von Aufzügen und Rolltreppen bei der BVG AöR. Schriftliche Anfrage des Abgeordneten Ole Kreins (SPD). Drucksache 17 / 14992, 21.11.2014. Online verfügbar unter <http://www.polio-selbsthilfe-berlin.de/Berichte/2014/OK%20SA%2014-992%20Aufz%C3%BCge.pdf>, zuletzt geprüft am 27.01.2017.

Abgeordnetenhaus Berlin (2016). Online verfügbar unter <http://archiv.berliner-verkehr.de/2016/11/28/barrierefrei-mobilitaet-bahnhofe-die-funktionierende-stadt-hier-die-aufzuege-aus-senat/>, zuletzt geprüft am 27.01.2017.

AdV (2017): Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS®). Hg. v. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Online verfügbar unter <http://www.adv-online.de/AAA-Modell/ALKIS/>, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

aero.de (2014): Kleineren Flughäfen droht 2024 das Aus. EU kappt Subventionen. Online verfügbar unter <http://www.aero.de/news-19071/Kleineren-Flughaefen-droht-2024-das-Aus.html><http://www.aero.de/news-19071/Kleineren-Flughaefen-droht-2024-das-Aus.html>, zuletzt aktualisiert am 20.02.2014, zuletzt geprüft am 25.10.2017.

Appelt, Tobias; Huth, David (2016): Stabiler Markt, aber Politik verunsichert. In: German Council Magazin (3), S. 58–60.

Augsburger Allgemeine (2015): Fußgängerzone: Auf Galeria Kaufhof folgt Schuh Schmid. In: Augsburger Allgemeine 2015, 08.04.2015. Online verfügbar unter <http://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Fussgaengerzone-Auf-Galeria-Kaufhof-folgt-Schuh-Schmid-id33652442.html>, zuletzt geprüft am 04.05.2017.

AUMA (2017): Hallenkapazitäten. Ausstellungs- und Messe-Ausschuss der Deutschen Wirtschaft e.V. Online verfügbar unter <http://www.auma.de/de/messemarkt/branchenkennzahlen/internationalemessen/seiten/hallenkapazitaeten.aspx>, zuletzt aktualisiert am 01.01.2017, zuletzt geprüft am 12.09.2017.

Austrup, Stefan (2017): Shopping Center 4.0 - Anpassen oder gehen! In: EHI Retail Institute e.V. (Hg.): EHI Shopping-Center Report 2017. Neueröffnungen, Planungen, Revitalisierungen sowie Factory-Outlet-Center. Köln, S. 70–71.

Badische Zeitung (2010): Galeria Kaufhof: Umbau bei laufendem Betrieb. Galeria Kaufhof in Freiburg investiert einen einstelligen Millionenbetrag / Im November sollen die Arbeiten beendet sein. In: Badische Zeitung 2010, 12.10.2010. Online verfügbar unter <http://www.badische-zeitung.de/freiburg/galeria-kaufhof-umbau-bei-laufendem-betrieb--36461665.html>, zuletzt geprüft am 22.05.2017.

Badische Zeitung (2014): Karstadt Freiburg wurde saniert – ein Zeichen für die Zukunft? In: Badische Zeitung 2014, 30.09.2014. Online verfügbar unter <http://www.badische-zeitung.de/freiburg/karstadt-freiburg-wurde-saniert-ein-zeichen-fuer-die-zukunft--92006015.html>, zuletzt geprüft am 22.05.2017.

Bast, U.; Blank, R.; Buchert, M.; Elwert, T.; Finsterwalder, T.; Hörnig, G.; Klier, T. (2014): Recycling von Komponenten und strategischen Metallen aus elektrischen Fahrtrieben. Abschlussbericht zum Verbundvorhaben. Online verfügbar unter https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjX2P2X3arBaHXNGewKHbtXB2MQFgg3MAE&url=https%3A%2F%2Fwww.ifa.tu-clausthal.de%2Ffileadmin%2FAufbereitung%2FDokumente_News_ETC%2FMORE_Abschlussbericht.pdf&usg=AOvVaw1wGdJihwTLPteCvdiq5eKE.

BGB, vom 03.11.2017: Baugesetzbuch. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/BJNR003410960.html>, zuletzt geprüft am 12.03.2018.

BauO Bln, vom 28.06.2016 (2016): Bauordnung für Berlin.

bauportal-deutschland.de (2017): Instandhaltung Aufzüge, Fahrtreppen, Fahrsteige in Flughafen München, Terminal 1. Online verfügbar unter <https://www.bauportal-deutschland.de/index.php?Mode=ProjectDetails&TenderVobVolLotID=1104719>, zuletzt geprüft am 24.10.2017.

bauteilnetz Deutschland (2016a): bauteilnetz Deutschland - Die Idee. Online verfügbar unter http://www.bauteilnetz.de/bauteilnetz/website/stdws_thema/bauteilnetz.html, zuletzt geprüft am 19.06.2016.

bauteilnetz Deutschland (2016b): Allgemeine Anfrage zum bauteilnetz Deutschland, 19.06.2016. E-Mail an Antonia Köhn.

Beckmann, Ralf M.; Huttenloher, Christien; Linnhoff, Christina (2012): Wirkung von Einkaufszentren in der Innenstadt. Synoptische Aufbereitung vorliegender Studien, Kurzfassung. Hg. v. Deutsches Seminar für Städtebau und Wirtschaft. Online

verfügbar unter http://www.deutscher-verband.org/fileadmin/user_upload/documents/Studien/DSSW-Studie_EKZ_Kurzfassung_DV.pdf, zuletzt geprüft am 15.12.2016.

Bergsdal, Håvard; Bohne, Rolf André; Brattebø, Helge (2007): Projection of Construction and Demolition Waste in Norway. In: *Journal of Industrial Ecology* 11 (3), S. 27–39. DOI: 10.1162/jiec.2007.1149.

Berlin, Roman (2017): Hochbahn-Rolltreppen zu 97 Prozent verfügbar. *Nahverkehr Aktuell Hamburg*. Online verfügbar unter <http://hamburg.nahverkehraktuell.de/2017/08/08/hochbahn-rolltreppen-zu-97-prozent-verfuegbar/>, zuletzt aktualisiert am 08.08.2017, zuletzt geprüft am 27.09.2017.

Berliner Kurier (1996): Vandalismus: BVG-Rolltreppen bleiben täglich einmal stehen 1996, 17.07.1996. Online verfügbar unter <http://www.berliner-kurier.de/17853718>, zuletzt geprüft am 27.01.2017.

Berliner Kurier (2005): KAUFHOF-UMBAU Rolltreppen schweben an Ketten durch den neuen Innenhof. Operation Alex. In: *Berliner Kurier* 2005, 23.06.2005. Online verfügbar unter <http://www.berliner-kurier.de/kaufhof-umbau-rolltreppen-schweben-an-ketten-durch-den-neuen-innenhof-operation-alex-21890290>, zuletzt geprüft am 22.05.2017.

Berliner Morgenpost (2013): Am BER sind nun auch noch Rolltreppen zu kurz. In: *Berliner Morgenpost*, 08.07.2013. Online verfügbar unter <https://www.morgenpost.de/flughafen-BER/article117818876/Am-BER-sind-nun-auch-noch-Rolltreppen-zu-kurz.html>, zuletzt geprüft am 25.10.2017.

Berliner Woche (2013): Sanierungspläne verzögern Einbau von neuen Rolltreppen 2013, 08.04.2013. Online verfügbar unter <http://www.berliner-woche.de/steglitz/sonstiges/sanierungsplaene-verzoegern-einbau-von-neuen-rolltreppen-d25409.html>, zuletzt geprüft am 27.01.2017.

Bezirksregierung Düsseldorf (2017): Planfeststellungsverfahren zur Kapazitätserweiterung des Flughafens Düsseldorf. Online verfügbar unter http://www.brd.nrw.de/verkehr/flugplaetze_flugbetrieb/Airport-Duesseldorf-International/Hauptseite.html, zuletzt aktualisiert am 21.02.2017, zuletzt geprüft am 25.10.2017.

Binder, Andreas (2012): Elektrische Maschinen und Antriebe. Grundlagen, Betriebsverhalten. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-71850-5>.

Blume-Kolberg, Claudia (2017): Anfrage bezüglich Daten zu Schließungen, Abbrüchen und Umnutzungen von Einkaufszentren, EHI Retail Institute GmbH. Köln, 18.07.2017. E-Mail an Antonia Köhn.

Bogestra AG (2015): BOGESTRA beschafft gemeinsam mit weiteren Verkehrsunternehmen mehr als 50 Rolltreppen. Online verfügbar unter <http://www.bogestra.de/news-liste/news/article/bogestra-beschafft-gemeinsam-mit-weiteren-verkehrsunternehmen-mehr-als-50-rolltreppen.html>, zuletzt aktualisiert am 14.04.2015, zuletzt geprüft am 29.09.2017.

Bonfiglioli O&K Antriebstechnik (2017): Historie - Über 130 Jahre Erfahrung. Online verfügbar unter <http://www.oundka.com/de/unternehmen/historie.html>, zuletzt geprüft am 14.03.2017.

Brunner, Paul H. (2015): Urban Mining als Mittel zur Re-Industrialisierung der Stadt? 6. Urban Mining Kongress 2015. Urban Mining e.V. Dortmund, 04.11.2015.

Bundesregierung (2017): Energiewende - Erneuerbare Energien - Sonne. Online verfügbar unter https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/ErneuerbareEnergien/sonne/_node.html, zuletzt geprüft am 30.06.2017.

Bundesverband E-Commerce und Versandhandel e.V. (2017a): Interaktiver Handel in Deutschland. Ergebnisse 2016. Online verfügbar unter <https://www.bevh.org/markt-statistik/zahlen-fakten/>, zuletzt geprüft am 19.05.2017.

Bundesverband E-Commerce und Versandhandel e.V. (2017b): Stabiles Wachstum, begründete Prognose und aussichtsreiche Perspektive: Jahrespressegespräch 2017 des bevh. Online verfügbar unter <https://www.bevh.org/presse/pressemitteilungen/details/datum/2017/februar/artikel/stabiles-wachstum-begruendete-prognose-und-aussichtsreiche-perspektive-jahrespressegespraech-2017/>, zuletzt aktualisiert am 21.02.2017, zuletzt geprüft am 19.05.2017.

Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (2015): Bundesregierung erhöht Zuschüsse für Solarwärme. Online verfügbar unter <https://www.solarwirtschaft.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen-im-detail/news/bundesregierung-erhoeht-zuschuesse-fuer-solarwaerme.html>, zuletzt aktualisiert am 11.03.2015, zuletzt geprüft am 30.06.2017.

Bundesverwaltungsgericht (1990): Urteil vom 27. April 1990 - 4 C 16. 87. Online verfügbar unter <http://lexetius.com/1990,183>, zuletzt geprüft am 15.12.2016.

Bunge, Rainer (2016): Recycling ist gut, mehr Recycling ist besser – oder nicht? In: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Daniel Goldmann (Hg.): *Recycling und Rohstoffe*, Band 9, Bd. 9. Nietwerder: TK-Vlg, S. 79–91. Online verfügbar unter http://www.vivis.de/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=1275:recycling-ist-gut-mehr-recycling-ist-besser--oder-nicht&id=86:allgemein&Itemid=233, zuletzt geprüft am 19.06.2016.

Busse & Bahnen NRW (2013): SWB optimiert Anschlussstellen und saniert Rolltreppen. Online verfügbar unter <http://busse-und-bahnen.nrw.de/news-downloads/aktuelles/detail/2013-08-19-swb-optimiert-anchlussstellen-und-saniert-rolltreppen/>, zuletzt aktualisiert am 19.08.2013, zuletzt geprüft am 28.09.2017.

Bütikofer, Reinhard (2016): Rohstoffpolitik des Europäischen Parlaments. Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz 2016. www.vivis.de. Berlin, 07.03.2016.

BVG Kundenservice (2017): Anfrage bezüglich Fahrtreppen der BVG, 27.01.2017. E-Mail an Antonia Köhn.

BVSE (2016): Neue Sortiertechnologie zur sortenreinen Trennung von Aluminiumlegierungen. STEINERT stellt Sortiersystem zur Trennung von Aluminiumlegierungen auf der Messe Aluminium in Düsseldorf vor. Online verfügbar unter <https://www.bvse.de/schrott-elektronikgeraete-recycling/nachrichten-schrott-eschrott-kfz/872-philosophie-historie-mitgliedschaften-aktuelles-neue-sortiertechnologie-zur-sortenreinen-trennung-von-aluminiumlegierungen.html>, zuletzt aktualisiert am 08.11.2016, zuletzt geprüft am 16.03.2018.

C&A Mode GmbH & Co. KG (2017): Filialsuche. Online verfügbar unter <https://www.c-and-a.com/de/de/corporate/filialsuche/>, zuletzt geprüft am 14.09.2017.

C&A Retail (2017): Anfrage zu Filialen außerhalb von Einkaufszentren, 14.09.2017. E-Mail an Antonia Köhn.

City-Tiger (2009): Landau: Sperrung der Maximilianstraße wegen Einbau einer Rolltreppe im Kaufhof-Gebäude. Online verfügbar unter http://landau.city-tiger.de/news_1222/landau-sperrung-der-maximilianstrasse-wegen-einbau-einer-rolltreppe-im-kaufhof-gebaeude.html, zuletzt aktualisiert am 20.11.2009, zuletzt geprüft am 22.05.2017.

Conrads, Bernd (2016): Die VGF und ihre Fahrtreppen. VGF. Online verfügbar unter <https://blog.vgf-ffm.de/fahrtreppen/>, zuletzt aktualisiert am 23.03.2016.

DB Station&Service AG (2017): FaSta- Station Facilities Status API. Online verfügbar unter <http://data.deutschebahn.com/dataset/fasta-station-facilities-status>, zuletzt geprüft am 14.09.2017.

Der Westen (2009): Kaufhof schließt Filiale in Mülheim. In: Der Westen 2009, 12.03.2009. Online verfügbar unter <https://www.derwesten.de/incoming/kaufhof-schliesst-filiale-in-muelheim-id523891.html>, zuletzt geprüft am 05.05.2017.

Der Westen (2013): Neustart im Kaufhof ab November. In: Der Westen 2013, 25.07.2013. Online verfügbar unter <https://www.derwesten.de/staedte/oberhausen/neustart-im-kaufhof-ab-november-id8225411.html>, zuletzt geprüft am 04.05.2017.

Der Westen (2016a): Karstadt-Aus in Bottrop macht Weg für neue Händler frei. In: Der Westen 2016, 28.02.2016. Online verfügbar unter <https://www.derwesten.de/staedte/bottrop/karstadt-aus-in-bottrop-macht-weg-fuer-neue-haendler-frei-id11606209.html>, zuletzt geprüft am 04.05.2017.

Der Westen (2016b): MVG investiert Millionen in Rolltreppen und Aufzüge. In: Der Westen, 04.09.2016. Online verfügbar unter <https://www.derwesten.de/staedte/muelheim/mvg-investiert-millionen-in-rolltreppen-und-aufzuege-id12163079.html>, zuletzt geprüft am 28.09.2017.

destatis (2016): Ausgewählte Zahlen für die Bauwirtschaft. März 2016. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/Querschnitt/Bauwirtschaft.html>, zuletzt geprüft am 01.07.2016.

Detail (2017): Hamburgs schönste Kurven – die Bogenrolltreppe der Elbphilharmonie. Online verfügbar unter <https://www.detail.de/artikel/hamburgs-schoenste-kurven-die-bogenrolltreppe-der-elbphilharmonie-29551/>, zuletzt aktualisiert am 24.03.2017, zuletzt geprüft am 29.05.2018.

Deutsche Bahn AG (2016): Schnellere Reparatur der Aufzüge und Fahrtreppen dank Ferndiagnose. Online verfügbar unter http://www.deutschebahn.com/de/konzern/im_blickpunkt/11877412/20160406_ferndiagnose.html, zuletzt aktualisiert am 06.04.2016, zuletzt geprüft am 29.09.2017.

Dispan, Jürgen (2015): Aufzugs- und Fahrtreppenbranche in Deutschland. Entwicklungstrends und Herausforderungen. Branchenreport 2015. Hg. v. IMU Institut GmbH. Online verfügbar unter www.gat-eg.de/upload/2015_BR_Report.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2017.

Doplbauer, Gerold (2015): E-Commerce: Wachstum ohne Grenzen? Online-Anteile der Sortimente – heute und morgen. GfK GeoMarketing GmbH. Online verfügbar unter http://www.gfk-geomarketing.de/fileadmin/gfkgeomarketing/de/beratung/20150723_GfK-eCommerce-Studie_fin.pdf, zuletzt geprüft am 19.05.2017.

Doreth, Jürgen (2017): Fahrtreppengengerüst VAG Nürnberg, 09.10.2017. E-Mail an Antonia Köhn.

Duisburger Verkehrsgesellschaft AG (2017): Wenn Fahrtreppen nicht mehr fahren. Online verfügbar unter <https://www.dvg-duisburg.de/die-dvg/wissenswertes/fahrtreppen/>, zuletzt geprüft am 28.09.2017.

E. Breuninger GmbH & Co (2017): Das Dorotheen Quartier. Die Mitte im Leben Stuttgarts. Online verfügbar unter <https://www.dorotheen-quartier.de/>, zuletzt geprüft am 20.06.2017.

EBO (2016): Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung. EBO, vom 28.05.1967.

ECE Projektmanagement GmbH & Co. KG (2017): Loom Bielefeld - Daten und Fakten. Online verfügbar unter <https://www.loom-bielefeld.de/das-center/daten-und-fakten/>, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

-
- EHl EuroHandelsInstitut e.V. (2000): Shopping-Center-Report. Innenstadt - Stadtteil - Grüne Wiese. Hg. v. EHI EuroHandelsInstitut e.V. Köln.
- EHl EuroHandelsInstitut e.V. (Hg.) (2002, 2003, 2004): Shopping Center Report. Sammelordner. Köln.
- EHl Retail Institute e.V. (Hg.) (2006): Shopping-Center 2006. Fakten, Hintergründe und Perspektiven in Deutschland. Köln.
- EHl Retail Institute e.V. (Hg.) (2009): EHI Shopping-Center Report 2009. Neueröffnungen, Planungen, Revitalisierungen sowie Factory-Outlet-Center. Köln.
- EHl Retail Institute e.V. (Hg.) (2012): Shopping-Center 2012. inklusive Factory-Outlet-Center, Neueröffnungen, Planungen, Revitalisierungen. Köln.
- EHl Retail Institute e.V. (Hg.) (2013): EHI Shopping-Center Report 2013. Neueröffnungen, Planungen, Revitalisierungen sowie Factory-Outlet-Center. Köln.
- EHl Retail Institute e.V. (Hg.) (2014): EHI Shopping-Center Report 2014. Neueröffnungen, Planungen, Revitalisierungen sowie Factory-Outlet-Center. Köln.
- EHl Retail Institute e.V. (Hg.) (2015): EHI Shopping-Center Report 2015. Neueröffnungen, Planungen, Revitalisierungen sowie Factory-Outlet-Center. Köln.
- EHl Retail Institute e.V. (Hg.) (2016a): EHI Shopping-Center Report 2016. Neueröffnungen, Planungen, Revitalisierungen sowie Factory-Outlet-Center. Köln.
- EHl Retail Institute e.V. (2016b): Shopping-Center Report. Online-Datenbank der Shopping-Center in Deutschland. Online verfügbar unter <http://www.shopping-center-report.de>.
- EHl Retail Institute e.V. (2017a): Definitionen. Online verfügbar unter <http://www.shopping-center-report.de/#/definitions>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- EHl Retail Institute e.V. (Hg.) (2017b): EHI Shopping-Center Report 2017. Neueröffnungen, Planungen, Revitalisierungen sowie Factory-Outlet-Center. Köln.
- DIN 18015, 2013-09: Elektrische Anlagen in Wohngebäuden.
- DIN 18015-2, 2010-11: Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Teil 2: Art und Umfang der Mindestausstattung.
- Epoch Times (2017): Berliner Senat beharrt trotz Volksentscheids weiterhin auf einer Schließung des Flughafen Tegels. In: Epoch Times 2017, 25.09.2017. Online verfügbar unter <http://www.epochtimes.de/politik/deutschland/berliner-senat-beharrt-trotz-volksentscheids-weiter-auf-schliessung-tegels-a2225679.html>, zuletzt geprüft am 25.10.2017.
- Europäisches Parlament und Rat (2008): Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. Abfallrahmenrichtlinie, vom 22.11.2008. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:32008L0098>, zuletzt geprüft am 24.10.2016.
- Fishman, Tomer; Schandl, Heinz; Tanikawa, Hiroki; Walker, Paul; Krausmann, Fridolin (2014): Accounting for the Material Stock of Nations. In: Journal of Industrial Ecology 18 (3), S. 407–420. DOI: 10.1111/jiec.12114.
- Flughafen Düsseldorf GmbH (2017): Lageplan. Online verfügbar unter <https://www.dus.com/de-de/services/lageplan>, zuletzt geprüft am 24.10.2017.
- Flughafenverband ADV (2007): ADV-Monatsstatistik 12/07. Online verfügbar unter http://adv.aero/wp-content/uploads/2016/02/Statistik_Dezember_2007.pdf, zuletzt geprüft am 25.10.2017.
- Flughafenverband ADV (2008): ADV-Monatsstatistik 12/08. Online verfügbar unter http://adv.aero/wp-content/uploads/2016/02/Statistik_Dezember_2008.pdf, zuletzt geprüft am 25.10.2017.
- Flughafenverband ADV (2009): ADV-Monatsstatistik 12/09. Online verfügbar unter http://adv.aero/wp-content/uploads/2016/02/Dezember_2009.pdf, zuletzt geprüft am 25.10.2017.
- Flughafenverband ADV (2010): ADV-Monatsstatistik 12/10. Online verfügbar unter http://adv.aero/wp-content/uploads/2016/02/ADV_Monatsstatistik_Dez_2010_final.pdf, zuletzt geprüft am 25.10.2017.
- Flughafenverband ADV (2011): ADV-Monatsstatistik 12/11. Online verfügbar unter <http://adv.aero/wp-content/uploads/2016/02/ADV-Monatsstatistik-Dezember-2011.pdf>, zuletzt geprüft am 25.10.2017.
- Flughafenverband ADV (2012): ADV-Monatsstatistik 12/12. Online verfügbar unter <http://adv.aero/wp-content/uploads/2016/02/12-2012-ADV-Monatsstatistik.pdf>, zuletzt geprüft am 25.10.2017.
- Flughafenverband ADV (2013): ADV-Monatsstatistik 12/13. Online verfügbar unter <http://adv.aero/wp-content/uploads/2016/02/12-2013-ADV-Monatsstatistik.pdf>, zuletzt geprüft am 25.10.2017.
- Flughafenverband ADV (2014): ADV-Monatsstatistik 12/14. Online verfügbar unter http://adv.aero/wp-content/uploads/2016/02/12.2014_ADV-Monatsstatistik.pdf, zuletzt geprüft am 25.10.2017.

- Flughafenverband ADV (2015): ADV-Monatsstatistik 12/15. Online verfügbar unter <http://adv.aero/wp-content/uploads/2016/07/12.2015-ADV-Monatsstatistik.pdf>, zuletzt geprüft am 25.10.2017.
- Flughafenverband ADV (2016): ADV-Monatsstatistik 12/16. Online verfügbar unter <http://adv.aero/wp-content/uploads/2017/02/12.2016-ADV-Monatsstatistik.pdf>, zuletzt geprüft am 25.10.2017.
- Forschungsdatenzentren (2016a): Datenangebot Statistik der Baufertigstellungen. Hg. v. Statistische Ämter des Bundes und der Länder. Online verfügbar unter <http://www.forschungsdatenzentrum.de/bestand/baufertigstellungen/index.asp>, zuletzt aktualisiert am 09.09.2016, zuletzt geprüft am 30.06.2017.
- Forschungsdatenzentren (2016b): Datenangebot Statistik des Bauabgangs. Hg. v. Statistische Ämter des Bundes und der Länder. Online verfügbar unter <http://www.forschungsdatenzentrum.de/bestand/bauabgang/suf/index.asp>, zuletzt aktualisiert am 24.11.2016, zuletzt geprüft am 30.06.2017.
- Frankfurter Neue Presse (2015): Eine Rolltreppe schwebt ein, 12.08.2015. Online verfügbar unter <http://www.fnp.de/lokales/frankfurt/Eine-Rolltreppe-schwebt-ein;art675,1535837>, zuletzt geprüft am 13.09.2017.
- Frankfurter Neue Presse (2016): Kaufhof-Mutter setzt auf deutsche Schnäppchenlust. In: Frankfurter Neue Presse 2016, 02.07.2016. Online verfügbar unter <http://www.fnp.de/nachrichten/wirtschaft/Kaufhof-Mutter-setzt-auf-deutsche-Schnaepchenlust;art686,2089977>, zuletzt geprüft am 27.05.2017.
- Friedrich, Horst E. (2013): Leichtbau in der Fahrzeugtechnik. Wiesbaden: Springer Vieweg (ATZ/MTZ-Fachbuch).
- Fuldaer Zeitung (2016): Von 1983 bis 2017. Das Fuldaer Löhertor-Center in einer Chronik. In: Fuldaer Zeitung, 09.12.2016. Online verfügbar unter <http://www.fuldaerzeitung.de/regional/fulda/bewegung-im-projekt-lohertor-stadt-will-heute-konkrete-planungen-vorstellen-EB5939987>, zuletzt geprüft am 10.08.2017.
- Gabler Wirtschaftslexikon (2017a): Definition Rohstoffe. Online verfügbar unter <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/9866/rohstoffe-v12.html>, zuletzt geprüft am 12.10.2017.
- Gabler Wirtschaftslexikon (2017b): Definition Warenhaus. Online verfügbar unter <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/warenhaus.html>, zuletzt geprüft am 03.05.2017.
- GALERIA Kaufhof GmbH (2011): Galeria Kaufhof GmbH strafft Filialportfolio. Online verfügbar unter <https://www.galeria-kaufhof.de/unternehmen/presse/archiv-pressemitteilungen/pressemitteilungen-2011-galeria-kaufhof/K%C3%B6ln,-11.-Juni-2011/>, zuletzt geprüft am 04.05.2017.
- GALERIA Kaufhof GmbH (2017): Unsere Filialen im Überblick. Online verfügbar unter <https://www.galeria-kaufhof.de/filialen>, zuletzt geprüft am 03.01.2017.
- Gängrich, Pia (2015): Von Rolltreppen, die nicht rollen... und warum sie das nicht tun. Hg. v. HOCHBAHN. Online verfügbar unter <http://dialog.hochbahn.de/gute-fahrt/von-rolltreppen-die-nicht-rollen-und-warum-sie-das-nicht-tun/>, zuletzt aktualisiert am 13.01.2015, zuletzt geprüft am 26.09.2017.
- GCSC; ZIA (2017): Positionspapier des GCSC und ZIA zur Zukunft des Handels in der Stadt. In: German Council Magazin 21 (2/2017), S. 54–55.
- Gemici-Loukas, Ebru (2017a): Konjunkturticker 2. Quartal 2017. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. Online verfügbar unter <https://auf.vdma.org/documents/105668/792255/Konjunkturticker>, zuletzt geprüft am 27.10.2017.
- Gemici-Loukas, Ebru (2017b): Mengenabschätzung des vdma für Fahrtreppen in Deutschland, 27.10.2017. Telefonat, E-Mail an Antonia Köhn.
- German Council Magazin (2016a): 5 Statements zur Positionierung und Profilierung von Fachmarktzentren. Ein Beitrag der Redaktion auf Basis des MEC-Fachmarktcenter-Reports 2016. In: German Council Magazin 20 (5/2016), S. 46–48.
- German Council Magazin (2016b): Im Milaneo ist ein lebendiges, stadtteülfähiges Ganzes sichtbar geworden. Interview mit Dieter Schmoll, Architekt RKW RhodeKellermannWawrowsky und Verantwortlicher für die Auftragsplanung. In: German Council Magazin (3), S. 62–63.
- German Council Magazin (2016c): Topthema: Chancengleichheit für den stationären Handel. Delegation der GCSC Experten Komitees »Politische Arbeit« trifft Mitglieder der SPD Bundestagsfraktion. In: German Council Magazin (2), S. 64–66.
- German Council Magazin (2017a): Geopolitische Lage wird ein weiteres positives Branchenjahr nicht verhindern. Interview mit Dr. Frank Pörschke, President EMEA Markets, EMEA Management Board. In: German Council Magazin 21 (1/2017), S. 72–73.
- German Council Magazin (2017b): Wann sind in die Jahre gekommene Handelsimmobilien für Entwickler interessant? In: German Council Magazin 21 (1/2017), S. 68–69.
- GfK GeoMarketing GmbH (2016): Kaufkraft in Deutschland steigt 2017 um 1,7 Prozent. Bruchsal. Online verfügbar unter <http://www.gfk.com/de/insights/press-release/kaufkraft-deutschland-2017/>, zuletzt geprüft am 22.06.2017.
- Gießener Anzeiger (2014): Projektentwickler Rosco gibt Zwischenstand zu ehemaliger Kaufhof-Immobilie. In: Gießener Anzeiger 2014, 18.06.2014. Online verfügbar unter <http://www.giessener-anzeiger.de/lokales/stadt-giessen/nachrichten->

giessen/projektentwickler-rosco-gibt-zwischenstand-zu-ehemaliger-kaufhof-immobilie_14241316.htm, zuletzt geprüft am 04.05.2017.

Gießener Anzeiger (2017): Karstadt tauscht bis Mitte Juni alle Rolltreppen aus. In: Gießener Anzeiger 2017, 11.05.2017. Online verfügbar unter http://www.giessener-anzeiger.de/lokales/stadt-giessen/nachrichten-giessen/giessen-karstadt-tauscht-bis-mitte-juni-alle-rolltreppen-aus_17879660.htm, zuletzt geprüft am 22.05.2017.

Goldmann, Daniel (2016): Recycling und Rohstoffe 2016 - Stand und Perspektiven. Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz 2016. www.vivis.de. Berlin, 07.03.2016.

Götze, Uwe (1993): Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung. 2., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag (DUV). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-96174-7>.

Grimm, Bruno (2016): Bestand und Umgang mit Gebäudetechnik an der TU Darmstadt, Dezernat V Baumanagement und Technischer Betrieb der TU Darmstadt, 18.02.2016. Gespräch an Antonia Köhn.

Guratzsch, Dankwart (2009): Nur jedes zehnte Warenhaus kann umgebaut werden. Online verfügbar unter https://www.welt.de/welt_print/article4158636/Nur-jedes-zehnte-Warenhaus-kann-umgebaut-werden.html, zuletzt aktualisiert am 21.07.2009, zuletzt geprüft am 09.03.2017.

H. Sigrist und Partner AG (2017): Datenblatt Edelstahl 1.4305. Online verfügbar unter www.dosiersysteme.ch/documents/Datenblatt_Edelstahl.pdf, zuletzt geprüft am 12.10.2017.

Hager (2016): Hager Produktübersicht. Online verfügbar unter <https://www.hager.de/verteilersysteme/verteilerschraenke/217.htm>, zuletzt geprüft am 29.07.2016.

Hamburg Messe und Congress GmbH (2017): Interaktiver Geländeplan. Online verfügbar unter <http://hamburg-messe.de/aussteller/messegeelaende/geelaendeplan/>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

hamburg.de (2017): Barrierefreier Ausbau. Bis Ende des Jahrzehnts sollen alle U-Bahn-Stationen fertig sein. Online verfügbar unter <http://www.hamburg.de/bus-bahn/2845540/barrierefreier-ausbau-u-bahn-stationen/>, zuletzt geprüft am 27.09.2017.

Hamburger Abendblatt (2017): Hamburger Flughafen bekommt 27 neue Gates. In: Hamburger Abendblatt, 23.05.2017. Online verfügbar unter <https://www.abendblatt.de/hamburg/article210678843/Hamburger-Flughafen-bekommt-27-neue-Gates.html>, zuletzt geprüft am 25.10.2017.

Handelsblatt (2016): C&A will Läden schließen und in Umbau investieren. In: Handelsblatt, 10.11.2016. Online verfügbar unter <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/textilhandel-cunda-will-laeden-schliessen-und-in-umbau-investieren/14826416.html>, zuletzt geprüft am 21.10.2017.

Handelsimmobilien heute (2016): Komplettes Facelift für Galeria Kaufhof im Dreiländereck. In Aachen bald 40 Prozent mehr Verkaufsfläche, Dream-Concept und Restaurant Leonhard's. Online verfügbar unter http://www.hi-heute.de/waren-&geschaefthaeuser/news/komplettes-facelift-fuer-galeria-kaufhof-im-dreilaendereck/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=bca68fb02adb3e1b66aea8055af36b5e, zuletzt aktualisiert am 19.12.2016, zuletzt geprüft am 05.05.2017.

Handelsjournal (2016a): Onlinehandel beflügelt Ladenplanung. In: Handelsjournal 2016, 10.01.2016. Online verfügbar unter <http://handelsjournal.de/2016/01/10/markt/dwolf/onlinehandel-befluegelt-ladenplanung/>, zuletzt geprüft am 19.05.2017.

Handelsjournal (2016b): Saks OFF 5TH kommt nach Deutschland. In: Handelsjournal 2016, 06.07.2016. Online verfügbar unter <http://handelsjournal.de/2016/07/06/unternehmen/abusch/saks-off-5th-kommt-nach-deutschland/>, zuletzt geprüft am 05.05.2017.

Handelsjournal (2017): „Stationär ist nicht tot. Aber stationär wird anders“. In: Handelsjournal 2017, 07.03.2017. Online verfügbar unter <http://handelsjournal.de/2017/03/07/markt/patcavaleiro/stationaer-ist-nicht-tot-aber-stationaer-wird-anders/>, zuletzt geprüft am 19.05.2017.

Hannoversche Allgemeine (2011): Neue Rolltreppen am Aegidientorplatz. U-Bahn-Station bekommt neue Technik. In: Hannoversche Allgemeine, 21.07.2011. Online verfügbar unter <http://www.haz.de/Hannover/Aus-den-Stadtteilen/Mitte/Neue-Rolltreppen-am-Aegidientorplatz>, zuletzt geprüft am 27.09.2017.

Hannoversche Allgemeine (2017): Sind Sie eine Heuschrecke, Herr Hettrich? Intown über das Ihme-Zentrum. In: Hannoversche Allgemeine 2017, 01.06.2017. Online verfügbar unter <http://www.haz.de/Hannover/Aus-der-Stadt/Uebersicht/HAZ-Interview-mit-Intown-zum-Ihme-Zentrum>, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

Hauser, Clemens (2017): Fahrtreppen auf der Messe Düsseldorf, 26.09.2017. E-Mail an Antonia Köhn.

DIN EN 12831, 2003-08: Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast.

Henning, Wilhelm (2004): Forderungen der Betreiber an die Instandhaltung von Aufzugsanlagen. Dokumentation, Zuverlässigkeit und Nutzen durch moderne Instandhaltungsstrategien. 2. Symposium "Messtechnik im Aufzug". moBiel GmbH Bielefeld, 29.04.2004. Online verfügbar unter www.henning-gmbh.de/PublishedFiles/S2_henning.pdf, zuletzt geprüft am 27.09.2017.

Hensel (2016): Hensel Produktübersicht. Online verfügbar unter <http://www.hensel-electric.de/de/produkte/index.php?startPK=1>, zuletzt geprüft am 29.07.2016.

Hessert, Gerd (2012): Zukunft der Warenhausstandorte in Deutschland. Norderstedt: Books on Demand GmbH (Abhandlung, 21).

Hessert, Gerd (2017): Telefonat zu abweichenden Verkaufsflächen der Filialen von Kaufhof zwischen der Abhandlung (Hessert 2012) und der Angabe im Internet (GALERIA Kaufhof GmbH 2017), 10.05.2017. Telefonat an Antonia Köhn.

Hessert, Gerd; Jenne, Arnd (2014): Zukunftsperspektiven des innerstädtischen Einzelhandels in ostdeutschen Mittel- und Großstädten. Erarbeitung von städteclusterspezifischen Handlungsempfehlungen. Norderstedt: Books on Demand GmbH (Abhandlung, 23).

HBO, vom 15.01.2011 (2011): Hessische Bauordnung.

HGHI Schultheiss Quartier GmbH & Co. KG (2017): Historische Atmosphäre trifft auf modernes Shopping. Online verfügbar unter <https://www.schultheissquartier.de/>, zuletzt geprüft am 20.07.2017.

Hügi, Michael (2015): Ökologische und ökonomische Kosten-Nutzen-Analyse des Recyclings. Schlussfolgerungen metenviro. UBA-Workshop "Rückgewinnung von Edel- und Sondermetallen". Umweltbundesamt. Berlin, 02.11.2015.

Huth, David (2016): German Council Congress 2016: Handel trifft auf Politik. In: German Council Magazin (4), S. 4–14.

Huth, David; Müller, Susanne (2016): DSCF 2016: "Gradmesser der Branche". Das »Deutsche Shopping-Center Forum« hat sich in wenigen Jahren als Plattform für Handel- und Immobilienbranche etabliert. In: German Council Magazin (3), S. 90–93.

HVV (2017): Haltestellen. (Informationsdatenbank). Online verfügbar unter <http://geofox.hvv.de/jsf/mobilInformation.seam?clear=true>, zuletzt geprüft am 16.03.2017.

inFranken.de (2017): Neue Hoffnung für das Atrium in Bamberg? Online verfügbar unter <http://www.infranken.de/regional/bamberg/Neue-Hoffnung-fuer-das-Atrium-in-Bamberg;art212,2522593>, zuletzt aktualisiert am 22.02.2017, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

inSüdthüringen (2007): Alte Kaufhof-Rolltreppen kommen ins neue Shopping-Center. In: inSüdthüringen 2007, 16.01.2007. Online verfügbar unter https://www.insuedthueringen.de/region/suhl_zellamehlis/suhl/Alte-Kaufhof-Rolltreppen-kommen-ins-neue-Shopping-Center;art83456,1583962, zuletzt geprüft am 22.05.2017.

ISR University of Coimbra (2010): E4 Energy Efficient Elevators and Escalators.

Jeil Escalator (2017): Escalators Basic Components. Online verfügbar unter <http://jeiles.com/escalator/>, zuletzt geprüft am 24.11.2017.

Junker, Rolf; Kühn, Gerd (1999): Innerstädtische Einkaufszentren: Anforderungen und Integration. Schriftenreihe des Ministeriums für Arbeit, Soziales und Stadtentwicklung, Kultur und Sport des Landes NRW. NRW-Tipp Nr. 1324. Düsseldorf.

Kadewe (2016): Auflistung der Fahrtreppen im Kaufhaus Kadewe, 26.10.2016 an Antonia Köhn. eMail.

Karstadt Warenhaus GmbH (2017): Filialen. Online verfügbar unter <http://www.karstadt.de/on/demandware.store/Sites-Karstadt-Site/de/Page-List?fid=stores-stores&src=90L100001>, zuletzt geprüft am 03.01.2017.

Kiefhaber, Peter (2015): Neubau von Deponien - Ein Widerspruch zu Urban Mining? 6. Urban Mining Kongress 2015. Urban Mining e.V. Dortmund, 05.11.2015.

KMG Ingenieurgesellschaft für Gebäude- und Versorgungstechnik mbH (2016): Begehung und Bestandsaufnahme des Architekturgebäudes der TU Darmstadt, 07.07.2016. Gespräch an Antonia Köhn.

Knoll, Florian (2017): Revitalisierungen von Einkaufszentren, redos real estate GmbH, 02.05.2017. Telefonat an Antonia Köhn.

Kölner Stadt-Anzeiger (2013): Ehemalige Kaufhof-Filiale. Kalk droht Versorgungslücke. In: Kölner Stadt-Anzeiger 2013, 01.07.2013. Online verfügbar unter <http://www.ksta.de/koeln/kalk/ehemalige-kaufhof-filiale-kalk-droht-versorgungsluecke-2387918>, zuletzt geprüft am 05.05.2017.

Kölner Stadt-Anzeiger (2016a): Kinderwagenverbot auf Rolltreppen. Warum es bei der KVB noch nicht überall Aufzüge gibt. In: Kölner Stadt-Anzeiger, 12.05.2016. Online verfügbar unter <http://www.ksta.de/koeln/kinderwagenverbot-auf-rolltreppen-warum-es-bei-der-kvb-noch-nicht-ueberall-aufzuege-gibt-24044822>, zuletzt geprüft am 29.09.2017.

Kölner Stadt-Anzeiger (2016b): Aus „Sportarena“ wird „Saks Off 5th“. In: Kölner Stadt-Anzeiger 2016, 30.06.2016. Online verfügbar unter <http://www.ksta.de/wirtschaft/galeria-kaufhof-aus-sportarena-wird-saks-off-5th--24323140>, zuletzt geprüft am 28.05.2017.

Kölner Stadt-Anzeiger (2017): Wer ist zuständig? Marode Rolltreppen und defekte Lifte an KVB-Haltestellen. In: Kölner Stadt-Anzeiger, 31.03.2017. Online verfügbar unter <http://www.ksta.de/koeln/wer-ist-zustaendig-marode-rolltreppen-und-defekte-lifte-an-kvb-haltestellen-26277488>, zuletzt geprüft am 28.09.2017.

Kölnische Rundschau (2016): Bis zu 40 Edel-Outlets. Kaufhof investiert eine Milliarde. In: Kölnische Rundschau 2016, 12.03.2016. Online verfügbar unter <http://www.rundschau-online.de/wirtschaft/bis-zu-40-edel-outlets-kaufhof-investiert-eine-milliarde-23711898>, zuletzt geprüft am 05.05.2017.

DIN 276-4, 2009-08: Kosten im Bauwesen - Teil 4: Ingenieurbau.

KPMG International (2016): Poland: Retail sales tax; effective September 2016. Online verfügbar unter <https://home.kpmg.com/xx/en/home/insights/2016/07/tnf-poland-retail-sales-tax-effective-september-2016.html>, zuletzt aktualisiert am 21.07.2016, zuletzt geprüft am 04.07.2017.

KrWG, vom 24.02.2012 (29.07.2017): Kreislaufwirtschaftsgesetz. Online verfügbar unter <http://www.buzer.de/gesetz/10089/index.htm>.

LBO, vom 05.03.2010 (2010): Landesbauordnung für Baden-Württemberg.

Landesmesse Stuttgart GmbH (2017): Messe Stuttgart - Daten und Fakten. Online verfügbar unter https://www.messe-stuttgart.de/fileadmin/medien/PDF__s/fakten.pdf, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

Laninger, Tanja (2007): BVG will alle Rolltreppen in U-Bahnhöfen stilllegen. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/regionales/berlin/article1044627/BVG-will-alle-Rolltreppen-in-U-Bahnhoefen-stilllegen.html>, zuletzt aktualisiert am 21.07.2007, zuletzt geprüft am 27.01.2017.

Lederer, Jakob; Kleemann, Fritz; Ossberger, Markus; Rechberger, Helmut; Fellner, Johann (2016): Prospecting and Exploring Anthropogenic Resource Deposits: The Case Study of Vienna's Subway Network. In: Journal of Industrial Ecology 20 (6), S. 1320–1333. DOI: 10.1111/jiec.12395.

Leipziger Messe GmbH (2017): Hallenpläne und Grundrisse. Online verfügbar unter <http://www.leipziger-messe.de/unternehmen/messegelaende/plaene/hallenplaene/>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

Leverkusener Anzeiger (2016): Teile des City Centers sollen abgebrochen werden. In: Leverkusener Anzeiger 2016, 13.10.2016. Online verfügbar unter <http://www.ksta.de/region/leverkusen/stadt-leverkusen/leverkusen-teile-des-city-centers-sollen-abgebrochen-werden-24911588>, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

Li, Jianzhi; Shrivastava, Puneet; Gao, Zong; Zhang, Hong-Chao (2004): Printed Circuit Board Recycling. A State-of-the-Art Survey. In: IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing 27 (1), S. 33–42. Online verfügbar unter <http://ieeexplore.ieee.org/document/1331573/>, zuletzt geprüft am 22.09.2017.

LIFT journal (2012): Größter Auftrag der Firmengeschichte. Online verfügbar unter <https://www.lift-journal.de/de/aktuell/technik-produkte/11198-grter-auftrag-der-firmengeschichte.html>, zuletzt geprüft am 24.10.2017.

lokalkompass.de (2012): Abriss Löhrhof Center in Recklinghausen. Der Turm fällt. Online verfügbar unter <http://www.lokalkompass.de/recklinghausen/politik/abris-loehrhof-center-in-recklinghausen-der-turm-faellt-d160844.html>, zuletzt aktualisiert am 27.04.2012, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

lokalkompass.de (2016): Volle Züge auf der Wehrhahnlinie. Online verfügbar unter <http://www.lokalkompass.de/duesseldorf/kultur/volle-zuege-auf-der-wehrhahnlinie-d627753.html>, zuletzt aktualisiert am 20.02.2016, zuletzt geprüft am 28.09.2017.

m + a expodatabase (2017): Messeplatz Deutschland. Online verfügbar unter <http://www.expodatabase.de/wichtige-messeplaetze-deutschland/>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.

Messe Berlin GmbH (2017): Messe-Aufsichtsrat beschließt Bau einer neuen Halle. Online verfügbar unter http://www.messe-berlin.de/Presse/Pressemitteilungen/News_37133.html?referrer=/de/Presse/Pressemitteilungen/#news-de-37133, zuletzt aktualisiert am 13.01.2017, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

MESSE ESSEN GmbH (2016): In vier Bauphasen zur Neuen MESSE ESSEN. Online verfügbar unter <https://www.messe-essen.de/messeplatz-essen/modernisierung/bauphasen/>, zuletzt aktualisiert am 2017, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

MESSE ESSEN GmbH (2017): Raum für ihre Veranstaltungen. Online verfügbar unter <https://www.messe-essen.de/messe-veranstalter/raum-fuer-ihre-veranstaltung/>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

Messe München GmbH (2017): Hallenübersicht. Online verfügbar unter http://www.messe-muenchen.de/media/de/local_documents/raeume_und_flaechen_1/rf_hallenuebersicht.pdf, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

Messe Ostwestfalen GmbH (2017): Hallen- und Geländepläne. Online verfügbar unter <http://www.messezentrum.de/fuer-aussteller/hallen-und-gelaendeplaene/>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

Mitteldeutsche Zeitung (2003): Saale-Park Günthersdorf. Einkaufszentrum wird zu «Nova Eventis» umgebaut. In: Mitteldeutsche Zeitung 2003, 26.11.2003. Online verfügbar unter <http://www.mz-web.de/nachrichten/saale-park-guenthersdorf-einkaufszentrum-wird-zu-nova-eventis--umgebaut-9472214>, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

möbel kultur (2011): Möbel Mahler. Übernahme des Mutschler-Centers in Neu-Ulm. Online verfügbar unter <https://www.moebelkultur.de/news/moebel-mahler-uebernahme-des-mutschler-centers-in-neu-ulm/14009.html>, zuletzt aktualisiert am 21.04.2011, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

Morgenpost (2016): Zwei neue Möbelmärkte an der Landsberger Allee. In: Morgenpost 2016, 14.06.2016. Online verfügbar unter <https://www.morgenpost.de/bezirke/lichtenberg/article207680275/Zwei-neue-Moebelmaerkte-an-der-Landsberger-Allee.html>, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

Mrotzek-Blöß, Asja; Degenhardt, Anja; Janz, Alexander; Fooker, Michael; Schöps, Dirk (2015): Podiumsdiskussion: "Nice to have, but...". Welche Bedeutung haben die aktuellen Forschungsergebnisse für die unternehmerische Praxis? Moderation: Scharf, Christine. Workshop "Recyclingpotential von Technologiemetallen und anderen kritischen Rohstoffen als wichtige Säule der Rohstoffversorgung". Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. Berlin, 21.09.2015.

muenchen.de (2015): 125 neue Rolltreppen in den U-Bahnhöfen bis 2019. Online verfügbar unter <http://www.muenchen.de/aktuell/2015-11/rolltreppen-muenchen-u-bahn-erneuerung-swm-mvg.html>, zuletzt aktualisiert am 03.11.2015, zuletzt geprüft am 27.09.2017.

Müller, Daniel B. (2006): Stock dynamics for forecasting material flows—Case study for housing in The Netherlands. In: Ecological Economics 59 (1), S. 142–156. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.09.025.

Müller, Susanne (2017): Handel ist Wandel: gemischte Nutzungsobjekte immer gefragter. Forum "Recht - Architektur - Projektentwicklung" (RAP) des German Council of Shopping Centers Anfang März in Hamburg. In: German Council Magazin 21 (2/2017), S. 50–52.

Müller, Thorsten (2016a): Aufweichung der Sortimentsliste ist ein ganz klarer Irrweg. Interview mit HDE-Hauptgeschäftsführer Stefan Genth. In: German Council Magazin 20 (5/2016), S. 14–15.

Müller, Thorsten (2016b): Den Boom der Factory Outlets sehe ich kritisch. Interview mit Marco Atzberger, Mitglied der EHI-Geschäftsleitung. In: German Council Magazin 20 (5/2016), S. 18–19.

Müller, Thorsten (2016c): Der Handel ist das Rückgrat aller vitalen Zentren. Interview mit HDE-Präsident Josef Sanktjohanser. In: German Council Magazin (2), S. 32–34.

Müller, Thorsten (2016d): Handel ist gefordert, pro-aktiv zu denken und neues auszuprobieren. Interview mit Sebastian Müller, Head of Retail & Real Estate Consulting, GfK Geomarketing. In: German Council Magazin 20 (5/2016), S. 12–13.

Müller, Thorsten (2016e): Hybrid bedeutet immer auch effizient. Resumé der Masterarbeit "Die hybride Mall – Notlösung oder nachhaltiges Erfolgskonzept?" von Florian Knoll. In: German Council Magazin (4), S. 42–43.

Müller, Thorsten (2016f): Werden verstärkt Investments mit Wertsteigerungspotenzial suchen. Interview mit Marius Schöner, CBRE Global Investors. In: German Council Magazin (2), S. 52–53.

Müller, Thorsten (2016g): Wie effizient erfolgen Entwicklung und Realisierung von Einkaufszentren? Umfrage bei Branchenunternehmen - wo kann man sparen, was ist unverzichtbar? In: German Council Magazin (4), S. 48–54.

Müller, Thorsten (2016h): Wir brauchen in den Innenstädten eine bessere Durchmischung. Interview mit Iris Schöbel, Geschäftsführerin bei BMO Real Estate Partners (3), S. 38–42.

Münchner Verkehrsgesellschaft mbH (2007): Mobilität für alle. Mit der MVG barrierefrei unterwegs. Online verfügbar unter <https://www.mvg.de/dam/mvg/ueber/engagement/barrierefreiheit/mvg-barrierefreiheit.pdf>, zuletzt geprüft am 27.09.2017.

Münchner Verkehrsgesellschaft mbH (2017): U-Bahn: SWM und MVG tauschen in diesem Jahr 30 Rolltreppen aus. Online verfügbar unter <https://www.mvg.de/ueber/presse-print/pressemeldungen/2017/januar/2017-01-19-rolltreppen-aidenbachstrasse.html>, zuletzt aktualisiert am 19.01.2017, zuletzt geprüft am 27.09.2017.

NahverkehrHAMBURG (2016): Die wichtigsten Fragen zum geplanten Hauptbahnhof-Ausbau. Online verfügbar unter <http://www.nahverkehrhamburg.de/die-wichtigsten-fragen-zum-geplanten-hauptbahnhof-ausbau-3301/>, zuletzt aktualisiert am 14.01.2016, zuletzt geprüft am 27.09.2017.

Neue Westfälische (2016): Die Kaufhof-Fassade in der Bielefelder Innenstadt wird abgerissen. Loom: Arbeiten dauern bis Ende April – dann fließt Beton. In: Neue Westfälische 2016, 17.03.2016. Online verfügbar unter http://www.nw.de/lokal/bielefeld/mitte/mitte/20740915_Die-Kaufhof-Fassade-an-der-Stresemann-wird-abgerissen.html, zuletzt geprüft am 04.05.2017.

Noback, Andreas (2016): Bestand von IT-Gebäudetechnik im Architekturgebäude der TU Darmstadt sowie Verbleib nach der Sanierung des Gebäudes, EDV Management des FB Architektur, TU Darmstadt, 15.06.2016. e-Mail an Antonia Köhn.

nordbayern (2013): Langsamer Tod fürs Bamberger "Atrium". Online verfügbar unter <http://www.nordbayern.de/region/langsamer-tod-furs-bamberger-atrium-1.2925110>, zuletzt aktualisiert am 23.05.2013, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

nordbayern (2016): Aufseßplatz: Nachgebesserte Kaufhof-Pläne kommen an. Online verfügbar unter <http://www.nordbayern.de/region/nuernberg/aufsessplatz-nachgebesserte-kaufhof-plane-kommen-an-1.5567277>, zuletzt aktualisiert am 21.10.2016, zuletzt geprüft am 04.05.2017.

NürnbergMesse GmbH (2017): Hallenplan und Übersicht über das Messegelände Nürnberg. Online verfügbar unter <https://www.nuernbergmesse.de/de/veranstaltungen/hallen-raeumlichkeiten>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

-
- OECD (2017a): Where does Germany export Scrap Aluminium to? (2016). Online verfügbar unter https://atlas.media.mit.edu/en/visualize/tree_map/hs92/export/deu/show/7602/2016/, zuletzt geprüft am 16.03.2018.
- OECD (2017b): Where does Germany export Waste or Scrap of Stainless Steel to? (2016). Online verfügbar unter https://atlas.media.mit.edu/en/visualize/tree_map/hs92/export/deu/show/720421/2016/, zuletzt geprüft am 16.03.2018.
- OECD (2017c): Where does Germany export Waste or scrap, of alloy steel, other than stainless to? (2016). Online verfügbar unter https://atlas.media.mit.edu/en/visualize/tree_map/hs92/export/deu/show/720429/2016/, zuletzt geprüft am 16.03.2018.
- OECD (2017d): Where does Germany import Scrap Aluminium from? (2016). Online verfügbar unter https://atlas.media.mit.edu/en/visualize/tree_map/hs92/import/deu/show/7602/2016/, zuletzt geprüft am 16.03.2018.
- OECD (2017e): Where does Germany import Waste or scrap, of alloy steel, other than stainless from? (2016). Online verfügbar unter https://atlas.media.mit.edu/en/visualize/tree_map/hs92/import/deu/show/720429/2016/, zuletzt geprüft am 16.03.2018.
- OECD (2017f): Where does Germany import Waste or scrap, of stainless steel from? (2016). Online verfügbar unter https://atlas.media.mit.edu/en/visualize/tree_map/hs92/import/deu/show/720421/2016/, zuletzt geprüft am 16.03.2018.
- Osadnik, Susanne (2013): Die schwere Königsdisziplin namens Revitalisierung. In: Welt.de, 04.06.2013. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/sonderthemen/shopping-center/article116803377/Die-schwere-Koenigsdisziplin-namens-Revitalisierung.html>, zuletzt geprüft am 18.07.2017.
- Osthessen News (2013): Warum Rolltreppen um Mitternacht entschweben. Nachts bei Karstadt. In: Osthessen News 2013, 08.08.2013. Online verfügbar unter <http://osthessen-news.de/n1235412/fulda-warum-rolltreppen-um-mitternacht-entschweben-nachts-bei-karstadt.html>, zuletzt geprüft am 22.05.2017.
- Pittroff, Rainer (2017): Shopping-Center-Verdichtung: Beispiel Stuttgart. In: EHI Retail Institute e.V. (Hg.): EHI Shopping-Center Report 2017. Neueröffnungen, Planungen, Revitalisierungen sowie Factory-Outlet-Center. Köln, S. 95–97.
- Possinke, Barbara (2017): Mit Architektur gegen die Krise. In: EHI Retail Institute e.V. (Hg.): EHI Shopping-Center Report 2017. Neueröffnungen, Planungen, Revitalisierungen sowie Factory-Outlet-Center. Köln, S. 66–67.
- Rathgeber AG (2017): Die Geschichte der Rathgeber AG. Online verfügbar unter <http://www.rathgeber-ag.de/historie.html>, zuletzt geprüft am 22.05.2017.
- Recklinghäuser Zeitung (2016): Karstadt. Zukunft der Immobilie weiter ungewiss 2016, 15.06.2016. Online verfügbar unter <https://www.recklinghaeuser-zeitung.de/karstadt./Karstadt-Zukunft-der-Immobilie-weiter-ungewiss;art1000,1813037>, zuletzt geprüft am 04.05.2017.
- Reddeker, Jens (2017): Loom eröffnet am 26. Oktober in Bielefeld. In: Neue Westfälische, 02.06.2017. Online verfügbar unter http://www.nw.de/lokal/bielefeld/mitte/mitte/21810157_Loom-eroeffnet-am-26.-Oktober-in-Bielefeld-Sport-und-Spielzeuglaeden-ziehen-ein.html, zuletzt geprüft am 11.07.2017.
- Resch, Michael (2017): Anfrage zu Rolltreppen auf dem Messegelände an Messe Frankfurt, 15.09.2017. E-Mail an Antonia Köhn.
- Retzmann, Thomas (1996): Die Szenario-Technik. Eine Methode für ganzheitliches Lernen im Lernfeld Arbeitslehre. In: awt-info 15 (2), S. 13–19.
- reuters (2017a): Karstadt-Eigner Benko sieht Warenhauskette saniert. Online verfügbar unter <http://de.reuters.com/article/sterreich-karstadt-idDEKBN17R1WN>, zuletzt aktualisiert am 25.04.2017, zuletzt geprüft am 17.05.2017.
- reuters (2017b): Kaufhof-Chef - Müssen um jeden Euro im Umsatz kämpfen. Online verfügbar unter Kaufhof-Chef - Müssen um jeden Euro im Umsatz kämpfen, zuletzt aktualisiert am 23.03.2017, zuletzt geprüft am 17.05.2017.
- Rhein-Zeitung (2011): Kaufhof erhält sechs neue Rolltreppen. In: Rhein-Zeitung 2011, 25.07.2011. Online verfügbar unter http://www.rhein-zeitung.de/region/lokales/bad-kreuznach_artikel,-kaufhof-erhaelt-sechs-neue-rolltreppen-_arid,281244.html, zuletzt geprüft am 22.05.2017.
- Riemer, Henning (2012): Revitalisierung von innerstädtischen Shopping-Centern im Kontext urbaner Handelsagglomerationen. Universität Leipzig, Leipzig.
- Rommel, Theo (1999): Leitfaden für die Erfassung und Bewertung der Materialien eines Abbruchobjektes (493). Online verfügbar unter <http://www.beuth.de/de/publikation/heft-493-dafstb/25646888>, zuletzt geprüft am 30.06.2017.
- RP online (2013): Neue Rolltreppen an der Heine-Allee. Online verfügbar unter <http://www.rp-online.de/nrw/staedte/duesseldorf/neue-rolltreppen-an-der-heine-allee-aid-1.3455204>, zuletzt aktualisiert am 10.06.2013, zuletzt geprüft am 28.09.2017.

-
- RP online (2015): Zurheide übernimmt Ex-Kaufhof. Online verfügbar unter <http://www.rp-online.de/nrw/staedte/duesseldorf/zurheide-uebernimmt-ex-kaufhof-aid-1.5213534>, zuletzt aktualisiert am 04.07.2015, zuletzt geprüft am 04.05.2017.
- RuhrNachrichten (2011): Lahmgelegte Rolltreppen ärgern nicht nur Fahrgäste. In: RuhrNachrichten, 08.11.2011. Online verfügbar unter <https://www.ruhrnachrichten.de/staedte/bochum/Lahmgelegt-Rolltreppen-aergern-nicht-nur-Fahrgaeste;art932,1461235>, zuletzt geprüft am 28.09.2017.
- RuhrNachrichten (2017): U-Bahn-Haltestelle hat sechs neue Fahrtreppen im XXL-Format. In: RuhrNachrichten, 01.08.2017. Online verfügbar unter <https://www.ruhrnachrichten.de/staedte/dortmund/44137-Dortmund~/Maerkische-Strasse-U-Bahn-Haltestelle-hat-sechs-neue-Fahrtreppen-im-XXL-Format;art930,3327854>, zuletzt geprüft am 28.09.2017.
- Sawatzki, Dieter (2017): Kundenbindung und Kundenaktivierung mit interaktiven Digital Signage-Lösungen. In: EHI Retail Institute e.V. (Hg.): EHI Shopping-Center Report 2017. Neueröffnungen, Planungen, Revitalisierungen sowie Factory-Outlet-Center. Köln, S. 74–76.
- Schauer, Carmen (2017): Alter der Fahrtreppen der VGF, 29.09.2017. E-Mail an Antonia Köhn.
- Schefenacker, Gabi (2017): Fahrtreppen der SSB, 29.09.2017. E-Mail an Antonia Köhn.
- Schiller, Georg; Ortlepp, Regine; Krauß, Norbert; Steger, Sören; Schütz, Helmut; Fernández, José Acosta et al. (2015): Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-in-deutschland#>, zuletzt geprüft am 30.07.2016.
- Schindler Deutschland AG & Co. KG (2017a): Planungsleitfaden für Fahrtreppen und Fahrsteige. Konsequenz zur optimalen Lösung. Online verfügbar unter http://www.schindler.com/content/de/internet/de/mobilitaetsloesungen/produkte/fahrtreppen/_jcr_content/rightPar/downloadlist/downloadList/255_1414140206969.download.asset.255_1414140206969/Schindler-Fahrtreppen-und-Fahrsteige-Planung.pdf, zuletzt geprüft am 05.07.2017.
- Schindler Deutschland AG & Co. KG (2017b): Schindler 9300AE. Die weltweit führende Fahrtreppe zur sicheren und zuverlässigen Personenbeförderung. Online verfügbar unter https://www.schindler.com/content/de/internet/de/mobilitaetsloesungen/produkte/fahrtreppen/_jcr_content/rightPar/downloadlist/downloadList/254_1414140023136.download.asset.254_1414140023136/Schindler-Fahrtreppe-9300AE.pdf, zuletzt geprüft am 12.10.2017.
- Schlicht, Christian (2017): Fahrtreppenaustausch im Rahmen von Revitalisierungen, ECE Projektmanagement, 14.09.2017. E-Mail an Antonia Köhn.
- Schrottpreis.org (2018): Schrottpreise. Online verfügbar unter <https://www.schrottpreis.org/stahlschrott/>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2018, zuletzt geprüft am 16.03.2018.
- SCHULITZ Architekten GmbH (2001): Skywalk Hannover. Online verfügbar unter <https://web.archive.org/web/20010415105851/http://www.schulitz.de/projekte/verkehr/skywalk/skywalk.htm>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.
- Schulz, Marcus (2017): Fahrtreppenaustausch im Rahmen von Revitalisierungen, KOPRIAN iQ MANAGEMENT GmbH. Hamburg, 21.07.2017 an Antonia Köhn.
- Schwaiger, Bärbel (2002): Strukturelle und dynamische Modellierung von Gebäudebeständen. Dissertation. Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe. Fakultät für Architektur.
- Schwandl, Robert (2010): Trams and Railway Germany. Hg. v. UrbanRail.Net. Online verfügbar unter <http://www.urbanrail.net/eu/de/germany.htm>, zuletzt geprüft am 26.09.2017.
- SHK Niedersachsen (2007): Die Modernisierungswelle kommt. Interview mit Professor Dr.-Ing. Dieter Wolff, FH Braunschweig/Wolfenbüttel. Unter Mitarbeit von Fachverband Sanitär-, Heizung-, Klima- und Klempnertechnik Niedersachsen. Hg. v. Haustechnik Dialog. Online verfügbar unter <http://www.haustechnikdialog.de/News/6743/Die-Modernisierungswelle-kommt>, zuletzt aktualisiert am 21.02.2007, zuletzt geprüft am 30.06.2017.
- Sonae Sierra (2010): Shoppingcenter-Revitalisierung in Deutschland.
- Sportarena GmbH (2017): Sportarena Filialen. Online verfügbar unter <https://www.sportarena.de/filialen.html>, zuletzt geprüft am 05.05.2017.
- VdS CEA 4001, 2014-04: Sprinkleranlagen, Planung und Einbau.
- spurwerk.nrw (2012): Millionenersparnis durch gemeinsamen Rolltreppen-Einkauf. Online verfügbar unter <http://www.spurwerk-nrw.de/sp/projekte/fahrtreppen/>, zuletzt geprüft am 28.09.2017.
- StahlDatSX PRO (2018): Register Europäischer Stähle. Online verfügbar unter <https://www.stahl Daten.de/de/inhalte/register-europaeischer-staehle/>, zuletzt geprüft am 16.03.2018.

statista (2017a): Aufzüge und Fahrtreppen - Anzahl in Deutschland 2015. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/302523/umfrage/anzahl-der-fahrtreppen-und-aufzuege-in-deutschland-nach-sektoren/>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

statista (2017b): Umsatz durch E-Commerce (B2C) in Deutschland in den Jahren 1999 bis 2016 sowie eine Prognose für 2017. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3979/umfrage/e-commerce-umsatz-in-deutschland-seit-1999/>, zuletzt geprüft am 19.05.2017.

Statistisches Bundesamt (2008): Signierschlüssel für Nichtwohngebäude. Online verfügbar unter http://www.forschungsdatenzentrum.de/bestand/bauabgang/suf/fdz_bauabgang_suf_nichtwohngeb%C3%A4ude_signierschlüssel.pdf, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

Statistisches Bundesamt (2014): Auszug aus dem Signierschlüsselverzeichnis für Nichtwohngebäude. Online verfügbar unter http://www.forschungsdatenzentrum.de/bestand/bauabgang/suf/fdz_bauabgang_suf_nichtwohngeb%C3%A4ude_signierschlüssel_ab_2015.pdf, zuletzt geprüft am 15.12.2016.

Statistisches Bundesamt (2017): Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes - Lange Reihen. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/Wohnsituation/FortschreibungWohnungsbestand.html>, zuletzt geprüft am 29.07.2017.

stimme.de (2016): Neuer Zeitplan für Wollhaus. Online verfügbar unter <http://www.stimme.de/heilbronn/nachrichten/stadt/Neuer-Zeitplan-fuer-Wollhaus;art1925,3654649>, zuletzt aktualisiert am 17.06.2016, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

Striebel & John (2016): Striebel & John Produktübersicht. Online verfügbar unter <http://www.strieblundjohn.com/content/stromkreisverteiler-der-serie-uk500>, zuletzt geprüft am 29.07.2016.

Stuttgarter Nachrichten (2016): Rolltreppen wochenlang außer Betrieb, 01.06.2016. Online verfügbar unter <http://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.defekte-technik-rolltreppen-wochenlang-ausser-betrieb.18eba870-f6ef-4457-b08f-9aa1d4c7bcce.html>, zuletzt geprüft am 29.09.2017.

Stuttgarter Zeitung (2014): Profit auf Kosten der Belegschaft? Karstadt-Schließung in Stuttgart. In: Stuttgarter Zeitung 2014, 24.10.2014. Online verfügbar unter <http://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.karstadt-schliessung-in-stuttgart-profit-auf-kosten-der-belegschaft.81fdcdf2-1f32-4964-942e-a36d6cb81de8.html>, zuletzt geprüft am 04.05.2017.

Stuttgarter Zeitung (2016): Primark zieht ins Karstadt-Haus. Neue Filiale in der Königstraße. In: Stuttgarter Zeitung 2016, 31.03.2016. Online verfügbar unter <http://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.neue-filiale-in-der-koenigstrasse-primark-zieht-ins-karstadt-haus.cc55903e-0119-42e5-b41f-e5764fed23b7.html>, zuletzt geprüft am 04.05.2017.

Südkurier (2016): Rolltreppen gehen spektakulär auf Reisen. In: Südkurier, 16.08.2016. Online verfügbar unter <http://www.suedkurier.de/region/kreis-konstanz/konstanz/Rolltreppen-gehen-spektakulaer-auf-Reisen;art372448,8857783>, zuletzt geprüft am 22.05.2017.

swr aktuell (2016): Einkaufskomplex in Heilbronn. Zukunft von Wollhauszentrum wieder offen. Online verfügbar unter <http://www.swr.de/swraktuell/bw/heilbronn/einkaufskomplex-in-heilbronn-zukunft-von-wollhauszentrum-wieder-offen/-/id=1562/did=18495304/nid=1562/sp7qdn/>, zuletzt aktualisiert am 16.11.2016, zuletzt geprüft am 04.05.2017.

Sydow-Druckguss GmbH (2017): Aluminiumdruckguss. Online verfügbar unter www.sydow.de/download/legierungstabelle.pdf, zuletzt geprüft am 12.10.2017.

TAB 2007, Juli 2007: TAB 2007 - Technische Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Niederspannungsnetz. Online verfügbar unter https://www.vde.com/de/fnn/dokumente/documents/tab_2007_bundesmusterwortlaut_juli2007.pdf, zuletzt geprüft am 29.06.2016.

Tagesspiegel (2004): Zurück in die Steinzeit: Die BVG reißt Rolltreppen raus. In: Tagesspiegel 2004, 02.02.2004. Online verfügbar unter <http://www.tagesspiegel.de/berlin/zurueck-in-die-steinzeit-die-bvg-reisst-rolltreppen-raus/487084.html>, zuletzt geprüft am 27.01.2017.

Tagesspiegel (2007): Neue Rolltreppen für die U-Bahn. In: Tagesspiegel 2007, 22.07.2007. Online verfügbar unter <http://www.tagesspiegel.de/berlin/bvg-neue-rolltreppen-fuer-die-u-bahn/993310.html>, zuletzt geprüft am 27.01.2017.

Tagesspiegel (2016a): Kaufhof am Ostbahnhof schließt Mitte 2017 2016, 15.04.2016. Online verfügbar unter <http://www.tagesspiegel.de/berlin/berliner-einzelhandel-kaufhof-am-ostbahnhof-schliesst-mitte-2017/13454962.html>, zuletzt geprüft am 15.03.2017.

Tagesspiegel (2016b): Umbau zu "Mall of Ku'damm". Mitarbeiter von Karstadt am Ku'damm fürchten um Jobs. In: Tagesspiegel 2016, 24.10.2016. Online verfügbar unter <http://www.tagesspiegel.de/berlin/bezirke/charlottenburg-wilmersdorf/umbau-zu-mall-of-kudamm-mitarbeiter-von-karstadt-am-kudamm-fuerchten-um-jobs/14729820.html>, zuletzt geprüft am 04.05.2017.

Tagesspiegel (2016c): Was mit dem Flughafen Tegel passieren soll. Pläne nach der Schließung, 22.11.2016. Online verfügbar unter <http://www.tagesspiegel.de/berlin/plaene-nach-der-schliessung-was-mit-dem-flughafen-tegel-passieren-soll/14865160.html>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

Tagesspiegel (2017a): Hauptstadtflughafen BER. Eröffnung 2019 oder doch erst 2023 – oder? In: Tagesspiegel, 15.09.2017. Online verfügbar unter <http://www.tagesspiegel.de/berlin/hauptstadtflughafen-ber-eroeffnung-2019-oder-doch-erst-2023-oder/20336680.html>, zuletzt geprüft am 25.10.2017.

Tagesspiegel (2017b): Rechtlich ist der Flughafen Tegel schon dicht. TXL-Volksentscheid in Berlin, 18.09.2017. Online verfügbar unter <http://www.tagesspiegel.de/berlin/txl-volksentscheid-in-berlin-rechtlich-ist-der-flughafen-tegel-schon-dicht/20339504.html>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

Technische Universität Darmstadt (2016): r3-Verbundprojekt: Techno-ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäude-Bestand - PRRIG. Schlussbericht: Projektlaufzeit: 01.04.2013 bis 30.06.2016. Unter Mitarbeit von Institut IWAR: Technische Universität Darmstadt, [Institut IWAR].

Tehnoplast (2016): Tehnoplast Produktübersicht. Online verfügbar unter http://www.tehno-plast.com/?page_id=12, zuletzt geprüft am 29.07.2016.

Textilwirtschaft (1999): Fünf Kaufhallen werden "Sportarena". In: Textilwirtschaft 1999, 14.04.1999. Online verfügbar unter <http://www.textilwirtschaft.de/business/unternehmen/Fuenf-Kaufhallen-werden-Sportarena-3908>, zuletzt geprüft am 27.05.2017.

Textilwirtschaft (2014): Recklinghausen: Neues Center Palais Vest eröffnet. In: Textilwirtschaft 2014, 16.09.2014. Online verfügbar unter <http://www.textilwirtschaft.de/business/standorte/Recklinghausen-Neues-Center-Palais-Vest-eroeffnet-93672?crefresh=1>, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

The Wall Street Journal (2015): Molycorp Files for Bankruptcy Protection. Rare-earth's miner reaches agreement with major creditors to restructure its \$1.7 billion debt load. Online verfügbar unter <http://www.wsj.com/articles/SB10907564710791284872504581069270334872848>, zuletzt geprüft am 29.07.2016.

Theisen, Georg (2017): Fahrtreppenüberprüfungen durch den TÜV Rheinland, 02.10.2017. E-Mail an Antonia Köhn.

ThyssenKrupp Fahrtreppen (2012): Firmenchronik. Online verfügbar unter <http://www.thyssenkrupp-escalator.com/de/unternehmen/firmenchronik/>, zuletzt geprüft am 15.03.2017.

TLG Immobilien; Wüest & Partner (2012): Investitionschancen in deutschen Mittelstädten. Wohn-, Büro- und Einzelhandelsimmobilien. Hg. v. TLG Immobilien. Online verfügbar unter <https://www.yumpu.com/de/document/view/9468097/investitionschancen-in-deutschen-mittelstadten-tlg-immobilien->, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

tz (2011): Der tägliche Rolltreppen-Wahnsinn. Online verfügbar unter <https://www.tz.de/muenchen/stadt/taegliche-rolltreppen-wahnsinn-rolltreppen-ausser-betrieb-aerger-tz-1162100.html>, zuletzt aktualisiert am 16.03.2011, zuletzt geprüft am 28.09.2017.

Umweltbundesamt (2016): Asbest. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/chemische-stoffe/asbest>, zuletzt geprüft am 15.07.2016.

Umweltbundesamt (2017): Bauabfälle. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/abfall-kreislaufwirtschaft/entsorgung-verwertung-ausgewaehlter-abfallarten/bauabfaelle#textpart-2>, zuletzt aktualisiert am 06.06.2017, zuletzt geprüft am 28.10.2017.

Unger, Dieter (2013): Aufzüge und Fahrtreppen. Ein Anwenderhandbuch: Springer Vieweg.

Veit, H. M.; Diehl, T. R.; Salami, A. P.; Rodrigues, J. S.; Bernardes, A. M.; Tenório, J. A. S. (2005): Utilization of magnetic and electrostatic separation in the recycling of printed circuit boards scrap. In: Waste management (New York, N.Y.) 25 (1), S. 67–74. DOI: 10.1016/j.wasman.2004.09.009.

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2014): Aufzüge und Fahrtreppen. Online verfügbar unter <http://talentmaschine.de/auf>, zuletzt geprüft am 27.10.2017.

BauNVO, vom 04.05.2017 (13.05.2017): Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke.

BetrSichV, vom 29.03.2017 (2015): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/betrnichv_2015/, zuletzt geprüft am 27.10.2017.

DIN 1026-2, 2002-10: Warmgewalzter U-Profilstahl - Teil 2: U-Profilstahl mit parallelen Flanschflächen; Maße, Masse und statische Werte.

WAZ (2015): Hoch und runter - den ganzen Tag. In: WAZ, 25.04.2015. Online verfügbar unter <https://www.waz.de/staedte/essen/hoch-und-runter-den-ganzen-tag-id10601730.html>, zuletzt geprüft am 28.09.2017.

Wellpott, Edwin (1997): Technische Ausrüstung von Gebäuden. 7. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer.

-
- Welt.de (2008): Der Flughafen Tempelhof ist endgültig Geschichte. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/regionales/berlin/article2653050/Der-Flughafen-Tempelhof-ist-endgueltig-Geschichte.html>, zuletzt aktualisiert am 31.10.2008, zuletzt geprüft am 25.10.2017.
- Wendel, Christine (2017): Von Rolltreppen, die nicht rollen. üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe AG. Online verfügbar unter <https://fahrtenbuch.uestra.de/von-rolltreppen-die-nicht-rollen/>, zuletzt aktualisiert am 20.01.2017, zuletzt geprüft am 27.09.2017.
- Wendenburg, Helge (2015): Beitrag aktueller Regelungsvorhaben im Bereich Kreislaufwirtschaft zur Stärkung der Sekundärwirtschaft. Workshop "Recyclingpotential von Technologiemetallen und anderen kritischen Rohstoffen als wichtige Säule der Rohstoffversorgung". Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. Berlin, 21.09.2015.
- Westdeutsche Zeitung (2017): Carsch-Haus: Drei Etagen sind schon leer. In: Westdeutsche Zeitung 2017, 01.02.2017. Online verfügbar unter <http://www.wz.de/lokales/duesseldorf/carsch-haus-drei-etagen-sind-schon-leer-1.2367399>, zuletzt geprüft am 04.05.2017.
- Westfalenhallen Dortmund GmbH (2017): Grundrisse Messehallen. Online verfügbar unter <http://www.westfalenhallen.de/events/fuer-veranstalter/downloads.html>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.
- Westfälische Rundschau (2013): Karstadt investiert Millionen in Dortmund. 28 neue Rolltreppen. In: Westfälische Rundschau 2013, 28.06.2013. Online verfügbar unter <https://www.wr.de/staedte/dortmund/karstadt-investiert-millionen-in-dortmund-id8125899.html>, zuletzt geprüft am 22.05.2017.
- Wetterauer Zeitung (2014): Kaufhof-Gebäude: C & A sicher – Rewe »Wackelkandidat«. In: Wetterauer Zeitung 2014, 29.05.2014. Online verfügbar unter <http://www.wetterauer-zeitung.de/regional/stadtgiessen/art71,92005>, zuletzt geprüft am 22.05.2017.
- Wiesbadener Kurier (2013): Karstadt-Kaufhaus in Wiesbaden bekommt neue Rolltreppen. Sechs Tonnen schwere Kolosse. In: Wiesbadener Kurier 2013, 24.08.2013. Online verfügbar unter http://www.wiesbadener-kurier.de/lokales/wiesbaden/nachrichten-wiesbaden/karstadt-kaufhaus-in-wiesbaden-bekommt-neue-rolltreppen--sechs-tonnen-schwere-kolosse_13380663.htm, zuletzt geprüft am 22.05.2017.
- Xu, Luqi (2014): Qualifizierte Schätzung von gewinnbaren Mengen von Materialien in Gebäuden bezüglich der Förderanlagen. Masterarbeit. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. IWAR.
- Yellishetty, Mohan; Mudd, Gavin M.; Ranjith, P. G.; Tharumarajah, A. (2011): Environmental life-cycle comparisons of steel production and recycling: sustainability issues, problems and prospects. In: Environmental Science & Policy 14 (6), S. 650–663. DOI: 10.1016/j.envsci.2011.04.008.
- Zepf, Volker (2015): Das verkannte Recyclingpotential der Seltenen Erden. Quantitative Ergebnisse für Neodym in Deutschland. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Daniel Goldmann (Hg.): Recycling und Rohstoffe, Band 8, Bd. 8. Nietwerder: TK-Vlg, S. 463–476. Online verfügbar unter http://www.vivis.de/phocadownload/2015_rur/2015_RuR_463-476_Zepf.pdf.

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BRI	Bruttorauminhalt
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
FT	Fahrtreppe
g	Gramm
G	Gebäude
ggf.	gegebenenfalls
GT	Gebäudetechnik
I	Input
k	Kilo
LAN	Local Area Network (lokales örtliches Netzwerk)
m	Meter
M	Lager
Mio.	Millionen
mm	Millimeter
Nr.	Nummer
n.v.	nicht vorhanden
O	Output
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PRRIG	Projekt „Techno-Ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäudebereich“
R	Rohstoff
t	Tonne
u.a.	unter anderem
UBP	Umweltbelastungspunkt
usw.	und so weiter

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Im Rahmen des Projekts PRRIG entwickeltes dynamisches Materialflussmodell für Massebauteile, Abbildung aus: (Technische Universität Darmstadt 2016).	8
Abbildung 3-1: Variierende Sicherungen in einem Wohnhaus: Schmelzsicherungen (1) und spezielle Leitungsschutzschalter (2) für eine Wohneinheit, modernere Leitungsschutzschalter (3) für eine andere Wohneinheit.	14
Abbildung 3-2: Vorkommen des Gefahrenstoffes Asbest in der Abdichtung eines Heizkörpers.	15
Abbildung 3-3: Ökonomisches Optimum bei der Rohstoffrückgewinnung, Abbildung aus: (Bunge 2016).	20
Abbildung 3-4: Ökologisches Optimum bei der Rohstoffrückgewinnung, Abbildung aus: (Bunge 2016).	21
Abbildung 4-1: Struktur des dynamischen Materialflussmodells.	24
Abbildung 4-2: Notwendige Betrachtungsebenen für ein dynamisches Materialflussmodell zu Fahrtreppen und Personenaufzügen aus Warenhäusern, bei dem die Rohstoffe Stahl, Glas und Aluminium betrachtet werden.	28
Abbildung 5-1: Fahrtreppe in einem Einzelhandelsgeschäft mit verhältnismäßig kleiner Verkaufsfläche.	40
Abbildung 5-2: Fahrtreppe an einer Fußgängerüberführung.	40
Abbildung 5-3: Basiskomponenten einer Fahrtreppe. Angepasst nach (Jeil Escalator 2017).	41
Abbildung 5-4: Ermittlung der Förderhöhe einer Fahrtreppe durch Zählung der sichtbaren Stufen auf einem Foto.	44
Abbildung 5-5: Warenhaus-Filialschließungen nach Anzahl und Verkaufsfläche sowie jährliche Mittel verschiedener Zeiträume.	51
Abbildung 5-6: Fahrtreppen in 30 untersuchten Warenhäusern, aufgliedert nach Verkaufsfläche und Anzahl der Ebenen.	58
Abbildung 5-7: Typenschild mit Angabe des Baujahres.	59
Abbildung 5-8: Anzahl aufgenommener Fahrtreppen je abgelesenem oder geschätztem Einbaujahr.	60
Abbildung 5-9: Anzahl der aufgenommenen Fahrtreppen je Einbaujahr der ältesten Fahrtreppe der Filiale, abgelesen oder geschätzt.	60
Abbildung 5-10: Fahrtreppen gruppiert nach Altersklasse der jeweils ältesten Fahrtreppe einer Filiale mit polynomischer Trendlinie 6. Grades.	61
Abbildung 5-11: Fahrtreppen gruppiert nach Altersklasse der jeweils ältesten Fahrtreppe, Hochrechnung auf alle Fahrtreppen in Warenhäusern außerhalb von Einkaufszentren.	61
Abbildung 5-12: Ausgetauschte Fahrtreppen aus Filialen, in welche die älteste Fahrtreppe 1974 eingebaut wurde.	62
Abbildung 5-13: Annahme des zukünftigen Austauschs von Fahrtreppen zum Ende der Nutzungsdauer in Warenhäusern.	63
Abbildung 5-14: Antriebsrad des Handlaufs (rot) sowie der Förderkette (blau), Abbildung aus: (Unger 2013).	66
Abbildung 5-15: Gebäudeinputs und -outputs im Trendszenario für Warenhäuser.	71
Abbildung 5-16: Gebäudeinputs und -outputs im Szenario <i>Innenstadtstärkung</i> für Warenhäuser.	72
Abbildung 5-17: Gebäudeinputs und -outputs im Szenario <i>Druck</i> für Warenhäuser.	72
Abbildung 5-18: Entwicklung des Gebäudelagers der drei Szenarien für Warenhäuser.	73
Abbildung 5-19: Fahrtreppeninputs und -outputs im Trendszenario für Warenhäuser.	74
Abbildung 5-20: Fahrtreppeninputs und -outputs im Szenario <i>Innenstadtstärkung</i> für Warenhäuser.	74
Abbildung 5-21: Fahrtreppeninputs und -outputs im Szenario <i>Druck</i> für Warenhäuser.	75
Abbildung 5-22: Entwicklung des Fahrtreppenlagers der drei Szenarien für Warenhäuser.	75
Abbildung 5-23: Stahlinputs und -outputs aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Warenhäuser.	76
Abbildung 5-24: Entwicklung des Rohstofflagers Stahl aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Warenhäuser.	76
Abbildung 5-25: Aluminiuminputs und -outputs aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Warenhäuser.	77
Abbildung 5-26: Entwicklung des Rohstofflagers Aluminium aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Warenhäuser.	77
Abbildung 5-27: Kupferinputs und -outputs aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Warenhäuser.	78

Abbildung 5-28: Entwicklung des Rohstofflagers Kupfer aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Warenhäuser.	78
Abbildung 5-29: Mit Einkaufswagen befahrbare Fahrsteige als Alternative zu Fahrtreppen in einem Supermarkt eines Fachmarktzentrums.	80
Abbildung 5-30: Anzahl klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren und ihrer Verkaufsebenen sowie Standorte.	81
Abbildung 5-31: Mietflächenzubau derzeit in Nutzung befindlicher klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren.	82
Abbildung 5-32: Mietflächenbestand derzeit in Nutzung befindlicher klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren.	83
Abbildung 5-33: Anzahl der Hybrid-Center und ihrer Verkaufsebenen sowie Standorte in Deutschland.	84
Abbildung 5-34: Zubau der Mietflächen der derzeit in Nutzung befindlichen Hybrid-Center in Deutschland pro Jahr.	84
Abbildung 5-35: Prognose des Kaufkraftindexes für 2017, Abbildung aus: (GfK GeoMarketing GmbH 2016).	85
Abbildung 5-36: Prognose der Kaufkraftdichte für 2017, Abbildung aus: (GfK GeoMarketing GmbH 2016).	87
Abbildung 5-37: Entwicklung des Marktanteils von Einkaufszentren in den Jahren 1987 bis 2013.	88
Abbildung 5-38: Angenommener Zubau der Mietfläche klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren in Deutschland.	92
Abbildung 5-39: Geschlossene Mietflächen klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren in Innenstadtlage.	96
Abbildung 5-40: Abgelesenes oder geschätztes Einbaujahr der Fahrtreppen in klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren bei 44 Gebäudeaufnahmen Ende 2016 und Anfang 2017.	104
Abbildung 5-41: Genäherte Einbaujahre der Fahrtreppen in klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren.	105
Abbildung 5-42: Annahme des zukünftigen Austauschs von Fahrtreppen zum Ende der Nutzungsdauer in klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren.	105
Abbildung 5-43: Mietflächeninputs und -outputs im Szenario <i>Sättigung</i> für Einkaufszentren.	109
Abbildung 5-44: Mietflächeninputs und -outputs im Szenario <i>Innenstadtstärkung</i> für Einkaufszentren.	110
Abbildung 5-45: Mietflächeninputs und -outputs im Szenario <i>Übersversorgung</i> für Einkaufszentren.	111
Abbildung 5-46: Entwicklung der Mietfläche der drei Szenarien für Einkaufszentren.	111
Abbildung 5-47: Fahrtreppeninputs und -outputs im Szenario <i>Sättigung</i> für Einkaufszentren.	112
Abbildung 5-48: Fahrtreppeninputs und -outputs im Szenario <i>Innenstadtstärkung</i> für Einkaufszentren.	112
Abbildung 5-49: Fahrtreppeninputs und -outputs im Szenario <i>Übersversorgung</i> für Einkaufszentren.	113
Abbildung 5-50: Entwicklung des Fahrtreppenlagers der drei Szenarien für Einkaufszentren.	113
Abbildung 5-51: Stahlinputs und -outputs aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Einkaufszentren.	114
Abbildung 5-52: Entwicklung des Rohstofflagers Stahl aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Einkaufszentren.	114
Abbildung 5-53: Aluminiuminputs und -outputs aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Einkaufszentren.	115
Abbildung 5-54: Entwicklung des Rohstofflagers Aluminium aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Einkaufszentren.	115
Abbildung 5-55: Kupferinputs und -outputs aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Einkaufszentren.	116
Abbildung 5-56: Entwicklung des Rohstofflagers Kupfer aus Fahrtreppen der drei Szenarien für Einkaufszentren.	116
Abbildung 5-57: Anzahl der Fahrtreppen in Bahnstationen nach ermitteltem bzw. geschätztem Einbaujahr.	121
Abbildung 5-58: Annahme des zukünftigen Austauschs von Fahrtreppen zum Ende der Nutzungsdauer in Bahnstationen.	122
Abbildung 5-59: Ausschnitt aus einem Stationsplan des HVV mit einer Fahrtreppe (hervorgehoben durch roten Kreis) mit 100 cm Breite sowie einer parallel verbauten Treppe mit 36 Stufen (HVV 2017).	122
Abbildung 5-60: Fahrtreppeninputs und -outputs in Bahnstationen.	124
Abbildung 5-61: Entwicklung des Fahrtreppenlagers in Bahnstationen.	125
Abbildung 5-62: Rohstoffinputs und -outputs von Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen in Bahnstationen.	125

Abbildung 5-63: Entwicklung der Rohstofflager Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen in Bahnstationen.	126
Abbildung 5-64: Rohstoffinputs und -outputs von Kupfer aus Fahrtreppen in Bahnstationen.	126
Abbildung 5-65: Entwicklung des Rohstofflagers Kupfer aus Fahrtreppen in Bahnstationen.	126
Abbildung 5-66: Einbaujahre der Fahrtreppen von Verkehrsflughäfen (2022: verzögert erfasste Fahrtreppen des BER).	129
Abbildung 5-67: Annahme des zukünftigen Austauschs von Fahrtreppen zum Ende der Nutzungsdauer in Verkehrsflughäfen.	130
Abbildung 5-68: Fahrtreppeninputs und -outputs in Flughäfen.	132
Abbildung 5-69: Entwicklung des Fahrtreppenlagers in Flughäfen.	132
Abbildung 5-70: Rohstoffinputs und -outputs von Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen in Flughäfen.	133
Abbildung 5-71: Entwicklung der Rohstofflager Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen in Flughäfen.	133
Abbildung 5-72: Rohstoffinputs und -outputs von Kupfer aus Fahrtreppen in Flughäfen.	134
Abbildung 5-73: Entwicklung des Rohstofflagers Kupfer aus Fahrtreppen in Flughäfen.	134
Abbildung 5-74: Fahrtreppenoutput bei Messehallen infolge von Treibern auf der Gebäudeebene.	135
Abbildung 5-75: Einbaujahre von Fahrtreppen in Messen.	137
Abbildung 5-76: Fahrtreppeninputs und -outputs in Messen.	138
Abbildung 5-77: Entwicklung des Fahrtreppenlagers in Messen.	138
Abbildung 5-78: Rohstoffinput und -output von Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen in Messen.	139
Abbildung 5-79: Entwicklung der Rohstofflager Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen in Messen.	139
Abbildung 5-80: Rohstoffinput und -output von Kupfer aus Fahrtreppen in Messen.	140
Abbildung 5-81: Entwicklung des Rohstofflagers Kupfer aus Fahrtreppen in Messen.	140
Abbildung 5-82: Annahme des zukünftigen Austauschs von Fahrtreppen zum Ende der Nutzungsdauer in C&A Filialen.	143
Abbildung 5-83: Gebäudeinputs und -outputs der Kette C&A in Deutschland außerhalb von Einkaufszentren.	145
Abbildung 5-84: Entwicklung des Gebäudelagers der Kette C&A in Deutschland außerhalb von Einkaufszentren.	145
Abbildung 5-85: Fahrtreppeninputs und -outputs der Kette C&A in Deutschland außerhalb von Einkaufszentren.	146
Abbildung 5-86: Entwicklung des Fahrtreppenlagers der Kette C&A in Deutschland außerhalb von Einkaufszentren.	146
Abbildung 5-87: Rohstoffinputs und -outputs von Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen der Kette C&A außerhalb von Einkaufszentren.	147
Abbildung 5-88: Entwicklung der Rohstofflager Stahl sowie Aluminium aus Fahrtreppen der Kette C&A außerhalb von Einkaufszentren.	147
Abbildung 5-89: Rohstoffinputs und -outputs von Kupfer aus Fahrtreppen der Kette C&A außerhalb von Einkaufszentren.	148
Abbildung 5-90: Entwicklung des Rohstofflagers Kupfer aus Fahrtreppen der Kette C&A außerhalb von Einkaufszentren.	148
Abbildung 5-91: Anteil der Teilmodelle und der nicht erfassten Fahrtreppen (unbekannt) am gesamten Fahrtreppenlager Deutschlands bei MIN-Annahme (30.000 Fahrtreppen) und MAX-Annahme (35.500 Fahrtreppen).	150
Abbildung 5-92: Fahrtreppeninput bis 2040 in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.	151
Abbildung 5-93: Fahrtreppenoutput bis 2040 in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.	152
Abbildung 5-94: Entwicklung des Fahrtreppenlagers bis 2040 in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.	152
Abbildung 5-95: Fahrtreppeninput bis 2040 in Deutschland, MAX-Annahme, Szenariokombination 1-1.	153
Abbildung 5-96: Fahrtreppenoutput bis 2040 in Deutschland, MAX-Annahme, Szenariokombination 1-1.	153
Abbildung 5-97: Entwicklung des Fahrtreppenlagers bis 2040 in Deutschland, MAX-Annahme, Szenariokombination 1-1.	154

Abbildung 5-98: Stahlinput bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.	155
Abbildung 5-99: Stahloutput bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.	155
Abbildung 5-100: Entwicklung des Rohstofflagers für Stahl bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.	156
Abbildung 5-101: Aluminiuminput bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.	156
Abbildung 5-102: Aluminiumoutput bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.	157
Abbildung 5-103: Entwicklung des Rohstofflagers für Aluminium bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland für MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.	158
Abbildung 5-104: Kupferinput bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.	159
Abbildung 5-105: Kupferoutput bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland, MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.	159
Abbildung 5-106: Entwicklung des Rohstofflagers für Kupfer bis 2040 aus Fahrtreppen in Deutschland für MIN-Annahme, Szenariokombination 1-1.	160
Abbildung 5-107: Fahrtreppenoutputs der Teilmodelle differenziert nach der Ursache der Fahrtreppenentfernung in Szenariokombination 1-1.	160
Abbildung 5-108: Fahrtreppeninputs der Teilmodelle differenziert nach der Ursache des Einbaus in Szenariokombination 1-1.	161
Abbildung 5-109: Sensitivitätsanalyse für das Beispiel Trendszenario Warenhäuser im Jahr 2017, Stahloutput.	162
Abbildung 6-1: Umsatz des Onlinehandels in Deutschland von 1999 bis 2016 in Milliarden Euro sowie Prognose für 2017, ohne Umsatzsteuer, inklusive Dienstleistungen, Abbildung aus: (statista 2017b).	i
Abbildung 6-2: Verlauf und Prognose der Entwicklung des Einzelhandels, aufgeschlüsselt nach stationärem Einzelhandel, Versandhandel und Onlinehandel von 2001 bis 2025, Abbildung aus: (Doplbauer 2015).	ii
Abbildung 6-3: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Warenhäuser für alle drei Szenarien.	x
Abbildung 6-4: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Einkaufszentren für alle drei Szenarien.	xi
Abbildung 6-5: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Bahnstationen.	xii
Abbildung 6-6: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Verkehrsflughäfen.	xiii
Abbildung 6-7: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Messen.	xiv
Abbildung 6-8: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell C&A.	xv

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Gruppierung der Gebäudetechnik nach (DIN 276-4).....	12
Tabelle 3-2: Aufgenommene Türen von Elektroinstallationsverteilern für Wohneinheiten	16
Tabelle 4-1: Übersicht über die Treiber des dynamischen Materialflussmodells.....	27
Tabelle 4-2: Berechnung der zukünftigen Materialflüsse und Lager mittels des dynamischen Materialflussmodells	37
Tabelle 5-1: Zukunftsperspektiven der Warenhausfilialen in Deutschland, die sich nicht in Einkaufszentren befinden. Vereinfacht nach (Hessert 2012) und durch Abgleich der Filialdaten (GALERIA Kaufhof GmbH 2017; Karstadt Warenhaus GmbH 2017) aktualisiert auf Stand 31. Dezember 2016.	47
Tabelle 5-2: Nachnutzungsoptionen der Verkaufsflächen der zwischen 2010 bis 2017 geschlossenen bzw. schließenden Filialen	51
Tabelle 5-3: Zusammenfassung der Nachnutzungsoptionen hinsichtlich des Freiwerdens der Fahrtreppen.....	52
Tabelle 5-4: Für alle Szenarien einheitlich festgelegte Eingangswerte des Teilmodells Warenhäuser auf Gebäudeebene	56
Tabelle 5-5: Festgelegte Eingangswerte der verschiedenen Szenarien des Teilmodells Warenhäuser auf Gebäudeebene	57
Tabelle 5-6: Mittelwerte der Fahrtreppenabmessungen aus Gebäudeaufnahmen bei Warenhäusern	64
Tabelle 5-7: Rohstoffgehalte einzelner Fahrtreppenstufen sowie aller Stufen der durchschnittlichen Fahrtreppe eines Warenhauses	65
Tabelle 5-8: Rohstoffgehalte der Antritts- und Kammplatten verschiedener Altersklassen	66
Tabelle 5-9: Rohstoffgehalte der durchschnittlichen Fahrtreppen eines Warenhauses	66
Tabelle 5-10: Rohstoffbedarf durch Reparatur von Fahrtreppen in Warenhäusern	67
Tabelle 5-11: Berechnung der Gebäudeebene für das Teilmodell Warenhäuser im Trendszenario	68
Tabelle 5-12: Berechnung der Gebäudetechnikebene für das Teilmodell Warenhäuser im Trendszenario	69
Tabelle 5-13: Berechnung der Rohstoffebene Stahl für das Teilmodell Warenhäuser im Trendszenario	70
Tabelle 5-14: Letzte Erwähnungen klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren in den Shopping-Center Reports des EHI Retail Institute e.V. sowie deren Nachnutzung und Dauer bis zur Nachnutzung.....	95
Tabelle 5-15: Nachnutzungen der untersuchten geschlossenen Einkaufszentren aus Tabelle 5-14	96
Tabelle 5-16: Für alle Szenarien einheitlich festgelegte Eingangswerte des Teilmodells Einkaufszentren auf Gebäudeebene	99
Tabelle 5-17: Festgelegte Eingangswerte der verschiedenen Szenarien des Teilmodells Einkaufszentren auf Gebäudeebene	100
Tabelle 5-18: Ermittelte Fahrtreppenzahl klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren mit mehreren Verkaufsebenen	101
Tabelle 5-19: Prozentualer Anteil der klassischen und multifunktionalen Einkaufszentren mit mehreren Verkaufsebenen an der Mietfläche, Mietflächen agglomeriert aus (EHI Retail Institute e.V. 2016b).....	102
Tabelle 5-20: Berechnung des Gebäudetechniklagers klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren im Basisjahr 2016	102
Tabelle 5-21: Anzahl und Anteile der Fahrtreppen klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren in der Mall bzw. Mietfläche verschiedener Standorte	103
Tabelle 5-22: Mittelwerte der Fahrtreppenabmessungen aus Geräteaufnahmen klassischer und multifunktionaler Einkaufszentren	106
Tabelle 5-23: Rohstoffgehalte der durchschnittlichen Fahrtreppen in Einkaufszentren.....	107
Tabelle 5-24: Rohstoffbedarf durch Reparatur von Fahrtreppen in Einkaufszentren	108
Tabelle 5-25: Berechnung der Gebäudeebene für das Teilmodell Einkaufszentren, klassische und multifunktionale Einkaufszentren im Szenario <i>Überversorgung</i>	109
Tabelle 5-26: Betreiber im spurwerk.nrw sowie Anzahl ihrer Fahrtreppen	120
Tabelle 5-27: Mittelwerte der Fahrtreppenabmessungen aus der Geräteaufnahme bei Bahnstationen.....	123

Tabelle 5-28: Rohstoffgehalte der durchschnittlichen Fahrtreppe in Bahnstationen	123
Tabelle 5-29: Rohstoffbedarf durch Reparatur von Fahrtreppen in Bahnstationen	124
Tabelle 5-30: Bestehende Kapazitäten sowie hochgerechnetes Passagieraufkommen von Verkehrsflughäfen für 2026 und 2036	127
Tabelle 5-31: Mittelwerte der Fahrtreppenabmessungen aus den Befragungsergebnissen bei Verkehrsflughäfen	131
Tabelle 5-32: Rohstoffgehalte der durchschnittlichen Fahrtreppe in Verkehrsflughäfen	131
Tabelle 5-33: Rohstoffbedarf durch Reparatur von Fahrtreppen in Flughäfen	131
Tabelle 5-34: Mittelwerte der Fahrtreppenabmessungen aus den Befragungsergebnissen bei Messen	136
Tabelle 5-35: Rohstoffgehalte der durchschnittlichen Fahrtreppe in Messen	137
Tabelle 5-36: Rohstoffbedarf durch Reparatur von Fahrtreppen in Messen	137
Tabelle 5-37: Untersuchte Filialen der Bekleidungstextilkette C&A	142
Tabelle 5-38: Mittelwerte der Fahrtreppenabmessungen aus der Geräteaufnahme bei C&A Filialen	143
Tabelle 5-39: Aufsummierung der Rohstoffgehalte der verschiedenen Komponenten der durchschnittlichen Fahrtreppe einer C&A Filiale.....	144
Tabelle 5-40: Rohstoffbedarf durch Reparatur von Fahrtreppen in C&A Filialen	144
Tabelle A-1: Fahrtreppen je Altersklasse der ältesten Fahrtreppe einer Warenhausfiliale	iv
Tabelle A-2: Übersicht über Anzahl der Zentren, Ebenen und Mietflächen des Bestands an Einkaufszentren im Basisjahr 2016, teils differenziert nach alten und neuen Bundesländern	v
Tabelle A-3: Anzahl und Einbaujahre der Fahrtreppen in Bahnstationen.....	vi
Tabelle A-4: Übersicht der ermittelten bzw. geschätzten Fahrtreppen auf internationalen und regionalen Flughäfen Deutschlands	vii
Tabelle A-5: Übersicht der ermittelten bzw. geschätzten Fahrtreppen auf Messestandorten, orange Zahlen bedeuten, dass die Anzahl durch Hallenpläne auf der jeweiligen Internetseite ermittelt wurde, rote Zahlen sind Annahmen aufgrund der Hallenkapazität.	viii
Tabelle A-6: Abmessungen des Traggerüsts nach (Xu 2014), ergänzt um Mittelwerte	ix
Tabelle A-7: Gewichte einzelner Stufen nach (Xu 2014).....	ix
Tabelle A-8: Reparaturbedürftige Fahrtreppen je Szenario und Altersklasse im Teilmodell Warenhäuser	x
Tabelle A-9: Reparaturbedürftige Fahrtreppen je Szenario im Teilmodell Einkaufszentren, nur Altersklasse <i>ab 1991</i>	xi
Tabelle A-10: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Bahnstationen, nur Altersklasse <i>ab 1991</i>	xii
Tabelle A-11: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Verkehrsflughäfen, nur Altersklasse <i>ab 1991</i>	xiii
Tabelle A-12: Reparaturbedürftige Fahrtreppen im Teilmodell Messen, nur Altersklasse <i>ab 1991</i>	xiv
Tabelle A-13: Reparaturbedürftige Fahrtreppen je Szenario im Teilmodell C&A	xv

